

自動車専用道路事故多発区間における交通安全対策事業実施の車両挙動への影響分析

仙田 昂之*, 中村 俊之**, 宇野 伸宏***
絹田 裕一****, 北村 清州*****

要旨

本研究は、一般道の自動車専用道路のうち、走行速度超過車両が存在する交通事故多発区間を対象に、交通安全対策事業を実施時の車両挙動について、ドライビングシミュレータを用いてデータ収集・分析を通じて、その効果を検証することを目的としている。分析の結果、現在実施されている交通安全対策の効果は、ある程度の速度までは発現することが示唆された。一方で、高速度で走行する車両には、その効果が確認できなかった。そこで、本研究では車線逸脱に影響を与えているトンネル内の速度に着目し、ITS技術を用いた交通安全対策を追加的に実施した。高速度車両の速度抑制に貢献する一定の分析結果は得られたものの、当該区間での事故削減に向けては更なる交通安全対策が期待される。

Abstract

The aim of this study is to verify the effect when the traffic safety measures are carried out by analyzing vehicle behaviors collected data using driving simulator. The target section of this study is a bypass as road for exclusively by motor vehicles. In this section, there are many vehicles that speed has been exceeded, and therefore a lot of traffic accidents have occurred. As a result of the analysis, traffic safety measures that have been implemented in current circumstance is affected to some degree of speed. It is also revealed that the velocity of the upstream has an influence on the velocity in the target section of traffic measures. On the other hand, considering the effect that the vehicles are traveling at higher speed isn't affected, we additionally try to implement traffic safety measures using ITS technology, focusing on the speed in the tunnel. The result to contribute to the speed suppression of high-speed vehicle is obtained. In order to reduce the traffic accidents in this section, the further traffic safety measures can be expected to continue.

キーワード：交通安全対策事業，路面表示，ITS，ドライビングシミュレータ

Keywords: Road Safety Measures, Road Marking, ITS, Driving Simulator

1. はじめに

平成 25 年の交通事故発生件数は 629,021 件、交通事故死傷者数は 4,373 人であり¹⁾、近年、この数値は連続的に減少している。交通事故死傷者数では、過去最悪の 16,765

人が死亡した 1970 年の約 4 分の 1 程度まで減少している。交通事故死傷者数の減少については、シートベルト着用者率の向上、法令順守、エアバッグ・ABS をはじめとする自動車技術の進歩、医学・生存技術の進歩、交通安全教育、交通安全対策などの複合効果による成果であることが言われている。

自動車交通による交通事故のうち、特に自動車単独、ならびに自動車相互の交通事故に着目すれば、車両速度が速い状態で交通事故が発生した場合の方が、被害が大きく、生命を危険に晒すことになることは言うまでもない。物理学的には、車両重量に対して、速度の 2 乗分だけエネルギーを交通事故の衝突時により、受けることから、高速度での交通事故発生は極めて危険なことは自明である。

*京都大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kyoto University
**京都大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kyoto University
***京都大学経営管理大学院
Graduate School of Management, Kyoto University
**** (一財) 計量計画研究所
The Institute of Behavioral Sciences
***** (一財) 計量計画研究所
The Institute of Behavioral Sciences

自動車の速度については、一定区間ごとに信号交差点が設置され、停止を繰り返す一般道路やランプ等が設置され速度抑制対策が行われている生活道路と比較して、幹線道路、特にアクセスコントロールがなされている自動車専用道路において車両はより高速度で走行している。もちろん、生活道路における交通事故発生件数や交通事故死傷者数の割合も無視することはできず、交通事故削減に向けては取り組むべき重要な課題であることは言うまでもない。

そういった中で本研究では、アクセスコントロールがなされている一般道の自動車専用道路における自動車単独または相互の交通事故に着目する。自動車専用道路は、都市内の平坦な土地だけでなく、都市間の山間も通っており、中には急勾配やサグ、急カーブ等の非常に厳しい線形条件を持つ区間を通過する路線も存在している。走行速度では、アクセスコントロールがなされていることから、比較的高速度の車両が走行しており、上述のような線形が厳しい区間においては交通事故発生件数が多く、いわゆる事故多発区間が存在する。こうした事故多発区間に対して、国土交通省では、注意喚起や路面表示などによる事故対策を優先的に実施し、交通事故削減、抑制に努めてきた。

本研究は交通事故多発区間における、こうした交通事故削減、抑制のために実施された注意喚起や路面表示などの交通安全対策が、車両挙動に与える影響を分析する。加えて、車線逸脱に着目し、要因分析を行い、今後の事故削減に向けた知見を得ることを目的とする。

本研究の遂行にはドライビングシミュレータ（以下、DS）を用いる。DSを用いることで、同一被験者内での交通安全対策実施有無別の車両挙動データの収集、複数被験者間で同一の交通環境下でのデータ収集が可能となる²⁾。さらにもう1つの利点として、交通安全対策は実際に多発する区間・地点を対象に実施することから、その対策効果に関しては実施後に初めて結果が得られるものであるが、DSを用いることで、今後想定する対策の効果についても、ヴァーチャルリアリティ（以下、VR）上で表現し、被験者が運転し、データ収集することでその影響分析が可能となる。

2. 交通事故・交通安全に関する既往研究

webを活用した関連研究の検索が容易になり、例えば、いくつかの学術誌、学会等の論文サイトで「交通事故」や「交通安全」を対象キーワードに検索を掛けることで、直ちに1,000件以上の論文や報告を見つけることができる。

交通事故研究に関して、そのニーズとアプローチ方法を整理した大蔵の研究³⁾、1980年までの交通安全研究をレビューした斉藤⁴⁾、さらにその後の研究をレビューし、今後の課題を整理した斉藤ら⁵⁾がある。過去から現在までの交通安全研究の取り組みについて、交通事故の人為性、交通

状態や道路線形に基づく現象解明、原因探求、特徴整理、データベース化、事故抑制のための情報の在り方、交通安全教育の在り方等に分類し、整理されている。

そうした中で、DSを用いて交通安全の取り組みを行う研究は過去から実施されてきている^{例えは6)-8)}。DSを用いることで、限られた設定条件下での車両挙動を捉えることが可能となる。例えば、実験条件として、特定の被験者属性の影響を捉えること^{9)、10)}を目的とした研究（特に昨今の社会情勢から、提示したような高齢者に焦点を当てた研究が多い）について言及している研究も存在する。

本研究では交通安全対策事業として実施された路面表示や道路標識の評価を行うことから、路面表示に関する研究やDSを用いた交通安全研究について以下に取り上げる。

橋本ら¹¹⁾は全国の交通事故対策を目的とした路面表示の事例を収集し、効果分析を行っている。その結果「追突事故防止を目的とした路面表示」は、減速マークと注意喚起文字を組み合わせるにより効果が高まるなど、効果的な路面表示の設置方法についての知見を得ている。同様に出口ら¹²⁾は、交差点のカラー化等の交通安全対策の効果を対策の事前事後調査を通じて、影響把握を試みている。箕島ら¹³⁾は幹線道路を対象に、追突事故防止を目的に路面表示の設置前後での運転挙動、注視挙動の変化を分析し、その効果の把握を試みている。

また、安岡ら¹⁴⁾はマルチエージェント型のDSを用いて、形状が複雑で行き先が分かりづらい交差点における運転者の注視点移動に関するデータの解釈から立案した施策「行き先別路面カラー舗装」の効果を評価実験により検証している。日笠ら¹⁵⁾は高速道路合流部を対象に「合流前に目的方面に応じて予め車線変更を促す」ことを立案し、これを目的とした路面表示代替案を検討し、DSを用いた室内走行実験を行うことで、代替案の評価を行っている。その中で、「運転者は地名表示を優先的に判読しその情報を頼りに車線を判断する」など、表示方法に関する留意点についての知見を得ている。今後の代替案改良へ向けて、ヒアリング結果より運転者が路面表示に求めるデザイン上の留意点も併せて抽出した。

河田ら¹⁶⁾は、本研究と同様に速度抑制を目的とした路面表示パターンについて、DSを用いて評価、検証している。路面表示パターンの設置間隔や形状を見直す（赤色舗装と導流レーンマークの組合せによる路面表示パターン）案を作成し、DSを用いた走行体験により速度抑制の効果を評価している。運転挙動では、認識しやすい図形が短いピッチで繰り返し出現することが速度抑制に効果があり、運転手の意識は、認識しやすい図形が強調されると、速度抑制への意識が高まること、推奨案による対策後の速度調査では、対策前に比べ平均速度で約10km/h減速していること

より、速度抑制の効果を確認している。

このように DS を用いた路面表示に関する交通安全対策の効果検証、評価した論文はこれまでも存在している。そのような中で、本研究の特徴としては、現状の交通安全対策の影響を分析するだけにとどまらず、車線逸脱の影響に関する原因を車両挙動に基づき、解析している点で上述の論文とは異なっており、本研究の成果が当該区間での今後の交通安全の一考察となることが期待される。

3. 分析対象区間と交通事故

(1) 区間概要

分析対象は名阪国道上り（名古屋方面）方面の関トンネルから久我 IC に至る約 1.2km の区間（図 1）である。名阪国道は、一般国道 25 号の三重県亀山市の亀山 IC から伊賀市等を経由し、奈良県天理市の天理 IC へ至る高速道路（高速自動車国道に並行する一般国道自動車専用道路）であり、国道 25 号のバイパスである。

当該区間の上り名古屋方面は、関トンネル直後、5%の下り勾配に 2 つの急カーブが連続して存在している道路線形・縦断勾配からも極めて危険性の高い区間である。そのため、国土交通省では、カーブ手前での速度抑制を促す対策を実施してきた。その対策としては第一カーブ（R=350）において大型看板の設置、ならびに速度抑制のドットライン、段差舗装、第二カーブ（R=200）において滑り止め舗装、段差舗装、蛍光テープ舗装を実施している。

(2) 対象区間における車両速度

分析対象区間における車両速度の分布を示したものが、図 2 である。当該区間の制限速度 60km/h である。プローブデータ（平成 26 年 11 月・1 か月）の車両平均速度は 82.4km/h と速度超過が顕著にみられる。なお、制限速度 60km/h に対して、約 95%の車両が速度超過している。

この速度超過は、関トンネルは線形が直線であることからトンネル内で高速度となり、その後の 5%の下り勾配の影響で、速度超過がより助長されているものと想定される。

(3) 対象道路における交通事故件数

名阪国道（名古屋方面）の治田～亀山までの区間について、500m 毎の交通事故発生件数（2007 年～2011 年：5 年間）を整理したものが図 3 である。

図 3 より、分析対象の関トンネルから久我 IC に至る区間では、交通事故発生件数が他区間と比べて明らかに多く、当該区間は事故多発区間であることが確認できる。

分析対象区間での交通事故発生時の事故形態と事故車両数（単独車両か複数車両事故か）を整理したものが、表 1 である。単独車両による衝突事故の割合が 55.2%、

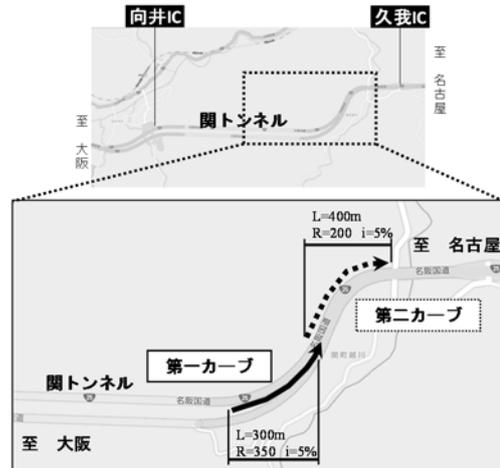


図 1 分析対象区間における道路線形・縦断状況

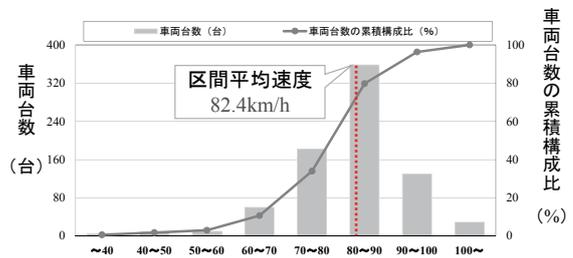


図 2 対象区間における車両速度分布

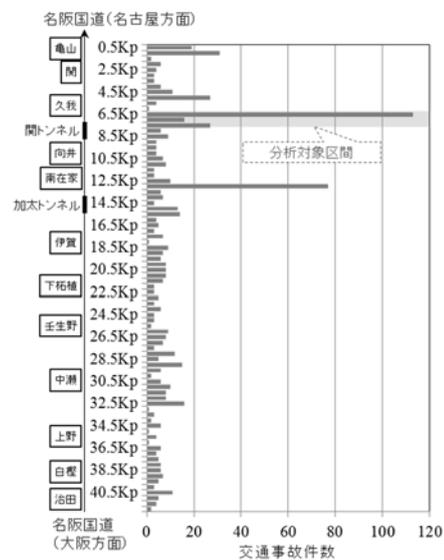


図 3 名阪国道（上り）における交通事故発生件数

表 1 分析対象区間の交通事故形態と事故車両数

事故形態	単独車両		複数車両	総計
	割合	割合		
衝突	55.2%	6.9%		62.1%
追突	4.3%	19.8%		24.1%
接触	5.2%	7.8%		12.9%
その他	0.9%			0.9%
総計	65.5%	34.5%		100.0%

総計でも衝突事故割合が 62.1%と高い割合であることが確認できる。なお、複数車両での衝突は、自車両が一度

ガードレール衝突後に、他車両に追突された事故等である。この結果から、当該区間での単独車両の衝突に関しては速度超過の影響によること、また、複数車両による追突事故についても、区間を走行する車両の間に速度差が生じている可能性が高いことが示唆された。

(4) 分析対象区間における断面設定

DS 実験では、実際の道路を模した VR 空間を再現し、その空間内の道路を走行することとなるが、分析にあたっては名阪国道の道路線形・勾配に基づき、断面を設定した(表 2)。ここでの DS 実験内の道のりとは、VR において作成されたコースの始点を 0 (m) としている。実際の走行開始地点は 100 (m) 地点であり、実験開始時の被験者の走行状態への影響等を排除するために分析開始断面を 200 (m) (断面 1) としている。また、図 4 に示す通り、設定した断面により分割される道路を区間として定義しており、分析区間 n は断面 n と断面 n+1 ではさまれた区間である。

なお、断面 1 は定義こそしているが、分析には直接用いていない。その理由としては、DS 実験の開始位置が関トンネル内に設定されており、各被験者の車両に初速を与えており、その速度の影響が生じていること、ならびに実験開始直後は、被験者の速度への慣れが不十分であることを考慮したためである。

4. 実験概要

(1) 実験設備と取得データ

本研究では DS を用いた実験により、車両挙動に関するデータを収集している。実験は Forum8 社製の DS を利用している。実験で利用する DS (図 5) には、6 軸モーション装置が設置してあり、被験者はアクセル・ブレーキ操作に伴う速度・加速度を体感することが可能である。また、運転席から 180 度視野角を確保している。被験者は運転席に座り、ハンドル、アクセル、ブレーキ、ワイパーやウィンカー等、通常の車両運転時と同様に動作する。

被験者が運転席乗車後、実際の道路を再現した VR 空間内を走行することで、その際の運転挙動が PC 上に 0.02～1 秒間隔でデータ収集・保存される。収集される車両挙動データは、VR 内に存在する車両 ID、走行 KP、走行累積距離、速度、各軸方向加減速度、アクセル・ブレーキ開度、ハンドル角度等である。

(2) 実験手順

実験は被験者の慣れや疲れを考慮し、設計した。DS での運転と実際の運転の間には、当然のことながら、被験者別に誤差が存在する。具体的には、ハンドルやアクセル、

表 2 分析断面と位置詳細

断面	DS実験内での道のり(地点)	位置
断面1	200	
断面2	260	関トンネル内 最初のLED表示板
断面3	350	関トンネル内 音声による情報提供位置
断面4	440	関トンネル内 最後のLED表示板
断面5	550	関トンネル出口
断面6	625	分析対象区間内の第一カーブ開始地点
断面7	800	第一カーブ中央
断面8	909	現状対策の実施区間始点
断面9	975	分析対象区間内の第一カーブ終了点
断面10	1050	二つのカーブをつなぐ直線区間中央
断面11	1090	分析対象区間内の第二カーブ開始地点
断面12	1195	第二カーブ中央
断面13	1300	第二カーブおよび現状対策終了地点
断面14	1400	下り坂終了地点

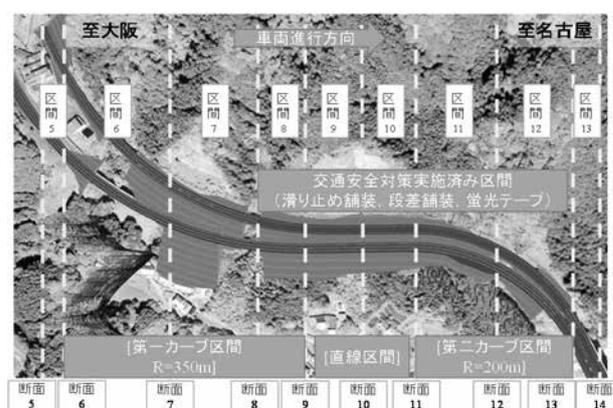


図 4 分析断面および区間の俯瞰図(断面 5 以降)



図 5 ドライビングシミュレータの外観

ブレーキの効き具合や体感速度に関する事項である。そうした中で、本実験では、被験者に DS での操作に慣れてもらうこと、ならびに DS 上での運転と実際の運転との誤差を認識した上で、指定した速度で走行ができること、ならびに車線に沿った安全に走行ができることを目的として、慣熟走行を本実験前に実施している。慣熟走行の内容は、分析対象区間を含む名阪国道を、指定された速度で複数回走行、ならびに、周辺車両の速度に合わせて、自車両の速度を保つ走行を複数回行った。

慣熟走行後の本実験は1回の走行で、対象区間を4回周回するように設計し、トンネル部分で起終点をループする形で、設計し、被験者に同一の道路を走行していることを悟られ、走行に影響がでないように、トンネル後の道路線形は複数パターン設定した。その中で、1回の本実験は7分程度の走行を2回行うものとし、1人の被験者あたり、2回の本実験で計4回の走行を行い、分析対象区間を16周している。

なお、本実験1回の2走行に要する時間は、14分程度であり、本実験後には、一律15分の休憩時間を設けることで、運転による被験者の疲労を軽減するよう配慮した。

(3) 実験被験者と分析サンプル数

実験対象被験者は普通自動車免許（中型）を有し、日常的に（週1回以上）運転している20～50代の健全な一般成年者を募集した。27名の実験を通じて、支障なくデータを取得できた有効被験者数は24人である。一部被験者については、運転中の体調不良や実験で設定した周辺車両と同様の速度帯での走行ができなかったために今回の分析対象外とした。なお、実験の一部でデータが収集できていない場合には分析対象外であり、全実験を通じてデータ収集できた被験者のみが分析対象である。分析対象となるサンプル数は被験者数24人に対し、14周分の336サンプルとなっている。

(4) 実験の条件設計

a) 対策内容

分析対象区間は図3にて示したとおり、交通事故多発区間であり、主に車両速度超過が原因による施設接触や車両衝突事故である。そのような状況の中、国土交通省では速度抑制のために図6に示すような当該区間の第一カーブにて「減速」を示した大型看板とドットライン、第二カーブにて段差舗装、滑り止め舗装、ドットライン、視認性向上のための蛍光テープを交通安全対策として実施している（「既存交通安全対策」と呼称）。なお、図6はDS実験でのVRの映像であり、実際の道路においてもドライバーからは同様の視認となる。

加えて、本研究では現状、図6に示すような速度抑制のために交通安全対策が実施されているにも関わらず、依然として速度の超過が発生していることを鑑みて、速度抑制のために関トンネル内に、速度超過による危険性が高い区間の存在を事前にドライバーへ予告する情報を提供する。

（以下の2つの交通安全対策を「ITS活用による交通安全対策」と呼称）。

その情報提供の具体的な方法として、LED情報板を利用した情報提供、ナビゲーションシステムを介した音声によ

る情報提供である。DS上のVR映像を図6に示す。

LED情報板は、関トンネル内の名古屋方面出口からの距離が290mの位置より60m間隔で、4つの看板を設置した。情報内容は、「急ブレーキ多発」「急カーブあり 速度注意」が交互に2つ繰り返される。

音声提供はドライバーに、関トンネル内の出口からの距離が200mの位置ナビゲーションシステムを介して、「この先、急カーブが連続します。速度に注意して走行してください。」と音声で情報提供がされるように設定した。

実験では既に実施されている交通安全対策と2つの新規の交通安全対策、それら3種の交通安全対策の有無を組み合わせた形で実験設定とした。



図6 対象区間の交通安全対策（DS上でのVR映像）

b) 事前教示内容と周辺車両設定

実験実施時における走行として、被験者には2車線のうち第一通行帯（左側車線）を走行し、車線変更は禁止であること、周囲の交通状況に合わせて運転すること、危険と感じた際は減速等を行い、安全運転することを事前に口頭にて教示した。被験者車両の周辺には、被験者車両の速度調整を目的として、第二通行帯（右側車線）にのみ、一定車両台数が所定の速度で走行するように設定した。周辺車両の速度設定は、図2の速度分布を参考に当該区間付近の平均速度に近い80km/hと、ならびに高速度で、より危険性が高まることが想定される95km/hの2水準を設定した。

c) 同一区間走行への慣れの配慮

走行コースは関トンネル内部を開始地点とし、久我ICを通過後に新たにトンネルを用意し、トンネル内で実験開始地点の関トンネル内にループする様に設定しており、被験者は繰り返し当該区間を走行する形とした。またトンネル通過後に下り勾配、急カーブが毎回登場することで、被験者にコース設定が露見し、走行への慣れが生じることを考慮し、久我IC直後のトンネル進入後に、関トンネル内にループするものと、一つ目のトンネルを通過し、分析対象外となる直線区間を走行後二つ目のトンネルへ進入し関トンネル内にループする二つのパターンを用意し、実験での同一区間走行への慣れへ配慮した。

d) 実験パターン

関トンネルから久我ICに至る区間で、（交通安全対策8パターン）×（周辺車両速度設定2パターン）の計16パターンを設定し、すべてのパターンを被験者は走行する。当該区間1周につき1パターンの設定を割り当て、被験者の負担を考慮し、1被験者あたりの走行回数は各パターンにつき1回ずつとした。本実験に関しては周辺車両速度を基に2回に分け、前述の通り各実験内で2走行、対象区間を各8周するように設計した。実験にあたって、走行順序による学習効果が生じないように、被験者ごとに走行順序が異なる6つのパターンを設定し、被験者にはそのいずれかのパターンが割り当てられる。各パターンにおける最初の関トンネルから久我ICまでの区間の走行は、交通安全対策を一切施していないコースを走行するように設定した。

5. 既存交通安全対策実施時の車両挙動分析

路面表示等の現状対策の影響を検証するために、本章では断面別平均速度の推移、カーブ区間における車線逸脱割合、各断面での地点速度（「断面速度」と呼称）が車線逸脱、既存交通安全対策に与える影響分析、断面速度の影響範囲に関する相関分析についてDS実験により収集されたデー

タを用いて、分析を行う。

(1) 断面別平均速度の推移

路面表示等の既存交通安全対策は速度抑制のために実施している。そこで、本節では、分析区間のうち、第3章(4)にて設定した断面別の被験者平均速度を用いて、その影響を分析する。なお、分析対象区間のうち、関トンネル区間については、直線線形でITSによる交通安全対策の実施による影響が想定されることから、関トンネル出口部の断面5から断面14を対象とする。また実験は周辺車両速度を2水準設定していることから、2水準の速度帯別、かつ既存対策の有無別の断面速度について、関トンネル出口部（断面5）での速度を基準値とした変化率を分析した結果として図7に示す。

周辺車両速度80km/hの場合（破線）では、対策の有無別に、速度変動の差異が顕著に表れていることが確認できる。特に断面7から速度変動に差異が生じはじめ、断面11の第二カーブに差し掛かる地点での速度が抑制されている傾向がみられる。

図7にて生じた傾向について、交通安全対策の実施有無により、本当に断面速度に差が生じているのかを平均値の差の検定（ウェルチのt検定）を用いて検証した。周辺車両速度80km/hの場合には断面9と断面10で1%、断面11で5%の有意差が確認された。この結果は、断面8より始まっている既存交通安全対策が、速度の抑制効果に寄与していることを支持する結果であった。一方で、周辺車両速度95km/hの場合（実線）では、対策の有無による速度変動の傾向は類似しており、対策の効果が目立たないという結果となった。同様に断面速度の平均値の差の検定結果によると、断面10、断面11において有意水準5%を満たすにとどまっている。

以上の結果より、路面表示等による既存交通安全対策は、対象区間の走行速度がある程度抑制されている場合にはその効果が発現される一方で、走行速度が高い場合には、その効果が低減する可能性が示唆された。

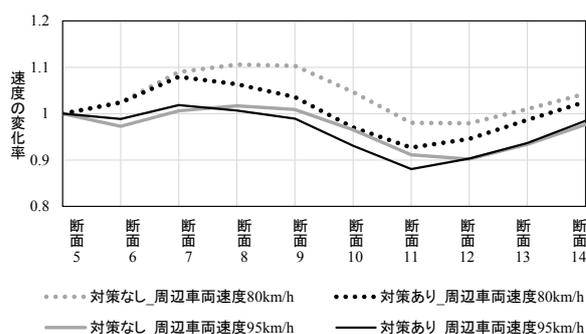


図7 走行速度の変化率

(2) カーブ区間における車線逸脱割合

当該区間では、速度超過の影響による、単独車両によるガードレールや道路壁等への衝突事故の割合が高いことが表 1 に示されていた。そこで、本節では、速度超過による影響として、車両の横ぶれ挙動、具体的には、横ぶれ挙動による影響として、車線からはみ出し（「車線逸脱」と呼称）に着目した。本研究では、車両走行中に運転車両の重心が車道外側線を超過したものを車線逸脱と定義し、実験において設定した 2 水準の速度帯別、既存交通安全対策の有無別に、車線逸脱挙動の発生割合を区間ごとに示した（図 8）。ここで車線逸脱の発生割合とは、区間内で車線逸脱をした被験者数を全数（24 人）で除した割合として算出した。

図 8 からは、区間 8、区間 9、区間 11 において車線逸脱の発生比率が高くなっていることが確認できる。特に連続する区間 8、区間 9 では、実験条件に関わらず、約半数の被験者が車線を逸脱していた。また速度帯毎に対策の有無による平均値の差の検定を行ったが、両速度帯ともに車線逸脱挙動の発生比率に有意差はみられなかった。

この原因として、区間 8 は関トンネル通過後、下り勾配、第一カーブの後半から直線区間へつながる緩和区間、区間 9 は緩和区間後の直線区間であり、被験者の車両速度が気づかないうちに上昇し、軽微なハンドル操作でも車線逸脱へとつながり得ることが想定される。

(3) 断面速度による影響分析

(1)、(2) の分析結果より、既存交通安全対策の影響や車線逸脱の影響は、その直前の断面速度が影響していることが想定される。そこで、本節では分散分析により、断面速度が既存交通安全対策、車線逸脱に与える影響を分析する。既存交通安全対策は区間 8 から区間 12 まで実施されている点、ならびに区間 8、区間 9 において車線逸脱の発生割合が高かったことを踏まえ、断面 8、断面 9 を対象に二元配置分散分析を実施した。

具体的には、各区間開始断面の速度、すなわち断面 8、断面 9 の断面速度を従属変数とし、既存交通対策の有無、区間内での車線逸脱の有無を説明変数とした二元配置分散分析を断面別に実施した。

分析結果を表 3、表 4 に示す。モデル全体の F 値は断面 8 で 9.646、断面 9 で 9.253 となり、いずれも 1% 有意となった。次に、変数の有意性の検定結果より、いずれの断面速度においても、直後の区間での車線逸脱が 1% 有意な結果となっている。一方で既存交通安全対策や対策と車線逸脱の交互作用の影響を受けないことが確認できる。

この結果を踏まえると、区間内での車線逸脱を低減するためには、当該区間に進入する際の断面速度を低下させる

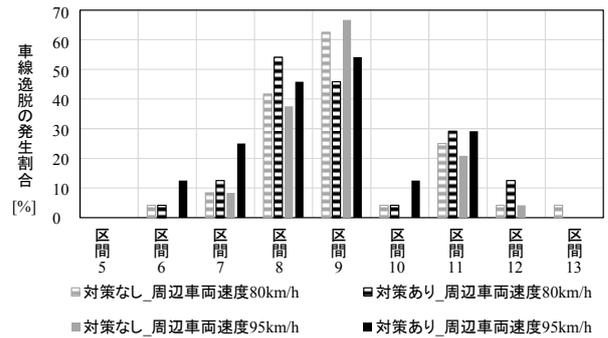


図 8 車線逸脱挙動の発生割合

表 3 断面 8 における分散分析結果

(モデル全体の有意性の検定)				
要因	平方和	自由度	平均平方和	F値
区間要因	1108.654	3	369.551	9.646 **
級内要因 (誤差)	12719.133	332	38.311	
全体	13827.787	335		
有意水準 ** 1% * 5% 決定係数 = 0.080				

(変数の有意性の検定)				
要因	平方和	自由度	平均平方和	F値
既存交通安全対策	49.418	1	49.418	1.290
区間 8 での車線逸脱	871.812	1	871.812	22.756 **
既存交通安全対策 * 区間 8 での車線逸脱	22.100	1	22.100	0.577
有意水準 ** 1% * 5%				

表 4 断面 9 における分散分析結果

(モデル全体の有意性の検定)				
要因	平方和	自由度	平均平方和	F値
区間要因	1241.629	3	413.876	9.253 **
級内要因 (誤差)	14850.662	332	44.731	
全体	16092.292	335		
有意水準 ** 1% * 5% 決定係数 = 0.077				

(変数の有意性の検定)				
要因	平方和	自由度	平均平方和	F値
既存交通安全対策	168.199	1	168.199	3.760
区間 9 での車線逸脱	532.430	1	532.430	11.903 **
既存交通安全対策 * 区間 9 での車線逸脱	111.416	1	111.416	2.491
有意水準 ** 1% * 5%				

ことが必要であることが示唆された。

(4) 断面速度の影響範囲に関する相関分析

前節での分散分析結果より、区間での車線逸脱とその直前の断面速度との間には関係性が確認された。その上で、本節では断面 8、断面 9 の断面速度がどの断面速度から影響を受けているのかについて、相関分析により把握する。相関分析の対象は、断面 8、断面 9 よりも上流断面における断面速度である。ただし、今回の DS 実験ではトンネル内においても、ITS を活用した交通安全対策を実施しており、トンネル内の速度については、その影響が反映されることが危惧されるため、本分析ではトンネル内での ITS を活用した交通安全対策実施なしのデータを対象とする。

分析結果を表 5 に示す。断面 8、断面 9 においても、相関係数の値は正であり、より近い断面での速度の影響を受けていることが確認できる。その上で、断面 8 は、トンネル内の断面 3 まで、断面 9 はトンネル出口にあたる断面 5 まで影響範囲が及んでいることが示唆された。

この結果を踏まえると、特にトンネル内での速度を抑制

させること、および、トンネル出口における車両速度を抑制することの必要性が示唆された。

なお、今回の断面速度の影響範囲についての相関分析は、各断面での速度のみに着目した結果である。DS 実験の都合上、VR 空間上で勾配や曲率等の道路線形を再現していることから、その影響を含んだ速度である一方で、実際の車両速度は交通状態等による影響を受けるものである。

DS 実験での交通状態はすべての被験者で同一のものであり、実際の道路のように様々な交通状態（密度や車種構成、速度等）による影響については今回の分析では考慮できていない点に留意されたい。

6. ITS を活用した追加的な交通安全対策実施時の車両挙動分析

前章での分析結果からは、既存交通安全対策が実施されているにも関わらず、車線逸脱が多い区間はその直前断面において高速度で走行していること、そしてトンネル内での速度、もしくはトンネル出口での速度が影響を及ぼしていたことが確認された。

そこで、本章においては、トンネル内での速度、ならびにトンネル出口での速度の抑制を目的に、トンネル内部において、ITS を活用した交通安全対策を実施した際のトンネル内、ならびにトンネル出口でのドライバーの速度に与える影響について分析を行う。本研究で対象とする ITS を活用した交通安全対策とは、第4章にて記載した LED 情報板、ナビゲーションシステムを通じた音声による情報提供である。

なお、トンネル内、およびトンネル出口での速度を低下させることは、既存交通安全対策実施区間に差し掛かる地点での速度を低下させ、結果として既存対策が効果を発現し、危険挙動の削減に寄与することが期待される。

(1) トンネル内・出口における断面別平均速度の推移

関トンネル内部の断面1からトンネル出口の断面5、その後の断面6における各断面速度を、実験での周辺車両速度別に図9、図10に示す。図9、図10では、トンネル内でのLED情報板、および音声による情報提供の走行パターン別の結果を示している。

周辺車両速度が80km/hの場合には、トンネル内での情報提供の有無に関わらず、同様の速度推移を示すことが分かった。具体的には、全体としてトンネル出口に向けて速度の低下がみられるものの、トンネル通過後には加速に転じ、低下していた速度が回復もしくは上昇する傾向になることが確認された。

一方で周辺車両速度が95km/hの場合には、トンネル内での情報提供により速度が低下する傾向がみられる。また

表5 各断面速度の間の相関係数

	断面8速度	断面9速度
断面1速度	0.113	-0.012
断面2速度	0.129	0.006
断面3速度	0.179 *	0.061
断面4速度	0.244 **	0.134
断面5速度	0.388 **	0.289 **
断面6速度	0.547 **	0.451 **
断面7速度	0.830 **	0.622 **
断面8速度		0.792 **

有意水準 **1% *5%

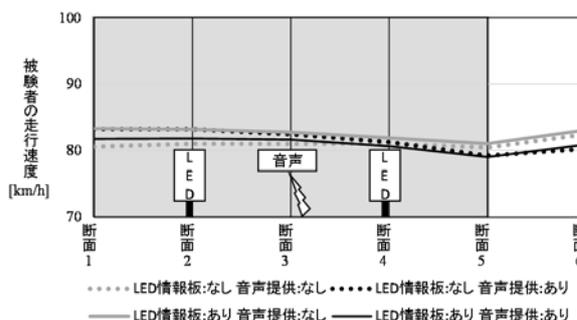


図9 ITSによる交通安全対策実施時のトンネル内での断面速度変化（周辺車両速度80km/h）

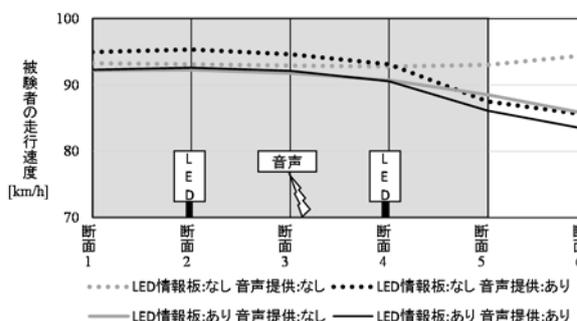


図10 ITSによる交通安全対策実施時のトンネル内での断面速度変化（周辺車両速度95km/h）

トンネル出口にあたる断面5から断面6における速度推移にも差がみられる。具体的にはトンネル内において情報提供を実施した場合にはトンネル出口に向けて速度の低下がみられ、その後も速度抑制効果が継続するが、情報提供を実施しない場合にはトンネル内での速度低下がみられず、さらにトンネル通過後に速度が上昇する傾向になることが確認された。

(2) ITS を活用した交通安全対策の効果検証

前節では情報提供の有無によりトンネル出口での速度およびその後の速度変動に差が生じる可能性が示唆された。そこで本節では分散分析により、トンネル内でのLED情報板および音声による情報提供がトンネル内での速度推移に与える影響を分析する。そこで断面5と断面1の速

度差を対象とした二元配置分散分析を実施した。

具体的にはトンネル内での情報提供により速度低下が発現すると考え、断面5での断面速度から断面1での断面速度を引いた断面速度の差を従属変数とし、LED情報板の有無、音声提供の有無を説明変数とし、前節の結果より周辺車両の速度帯別に二元配置分散分析を実施した。

分析結果を表6、表7に示す。周辺車両速度が80km/hの場合には、モデル全体として有意水準を満たしていない。これは前節において、トンネル内での速度推移に対して情報提供による影響がみられないという結果を支持するものとなった。一方で周辺車両速度が95km/hの場合には、モデル全体のF値は36.974となり1%有意となった。また変数の有意性の検定結果に関しても、LED情報板、音声提供およびLED情報板と音声提供の交互作用が全て1%有意となり、トンネル内での速度低下に対して影響を及ぼすことが示された。

以上の結果より、トンネル内における情報提供は、車両速度が80km/h程度の場合には発現せず、トンネル内およびトンネル通過後の速度抑制にはつながらないことが確認された。一方で車両速度が95km/hと高速度である場合には、トンネル内およびトンネル通過後の速度に対して影響を及ぼし、速度の抑制効果が発現することが確認された。

7. おわりに

本研究では一般道の自動車専用道路の中でも交通事故発生件数の多い、交通事故多発区間における交通安全対策事業実施による、車両挙動への影響をドライビングシミュレータにより収集したデータを用いて分析した。

既存交通安全対策に関して、車両走行速度により、効果の発現に差異が生じることが明らかとなった。具体的には、対策実施区間進入時の速度超過がある程度抑制されている場合には、既存交通安全対策により速度が低減、車線逸脱割合が低減する。大幅な速度超過車両に対しては、走行速度の低減、ならびに車線逸脱割合の削減効果が発現しにくいことが示唆された。また対策実施区間進入時の速度を抑制するために、断面速度に対して影響を及ぼす範囲の相関分析により、上流側に存在する関トンネル内部、トンネル出口における走行速度が影響していることが明らかになり、交通安全対策実施区間進入時の速度上昇に影響を及ぼすことが確認された。

上記を踏まえて、本研究ではトンネル内部においてITSを用いた交通安全対策を実施し、その効果も検証した。その結果、ITSによる対策においても、トンネル内部での走行速度により、効果の発現に差異が生じることが示唆された。具体的には、車両速度が80km/h程度の場合には、速度抑制効果が発現せず、トンネル内部、トンネル通過後の

表6 断面5と断面1の速度差に関する分散分析結果
(周辺車両速度80km/h)

(モデル全体の有意性の検定)				
要因	平方和	自由度	平均平方和	F値
級間要因	413.009	3	137.670	1.022
級内要因 (誤差)	22102.028	164	134.768	
全体	22515.038	167		
有意水準 ** 1% * 5%		決定係数 = 0.018		
(変数の有意性の検定)				
要因	平方和	自由度	平均平方和	F値
LED情報板	321.689	1	321.689	2.387
音声提供	7.021	1	7.021	0.052
LED情報板*音声提供	33.119	1	33.119	0.246
有意水準 ** 1% * 5%				

表7 断面5と断面1の速度差に関する分散分析結果
(周辺車両速度95km/h)

(モデル全体の有意性の検定)				
要因	平方和	自由度	平均平方和	F値
級間要因	11090.869	3	3696.956	36.974 **
級内要因 (誤差)	16397.968	164	99.988	
全体	27488.837	167		
有意水準 ** 1% * 5%		決定係数 = 0.403		
(変数の有意性の検定)				
要因	平方和	自由度	平均平方和	F値
LED情報板	2704.388	1	2704.388	27.047 **
音声提供	5717.778	1	5717.778	57.185 **
LED情報板*音声提供	6729.880	1	6729.880	67.307 **
有意水準 ** 1% * 5%				

速度は、情報提供を実施していない場合と同様の推移を示すこととなった。一方、車両速度が95km/h程度と、より高速度である場合には、ドライバーへの情報提供により、トンネル内部、トンネル通過後の速度を抑制する効果が発現することが示唆された。

しかしながら、今回DS実験の結果からは、既存交通安全対策の効果発現には車両速度が80km/h程度の場合であり、トンネル内部でのITSを活用した交通安全対策でも車両速度が95km/hでの走行時にしか効果が発現していない。車線逸脱については、交通安全対策の有無にかかわらず、車両速度が80km/hにおいても発生していることから、当該区間での交通事故削減に向けては、更なる速度低下を促し、制限速度に近づけるための対策を実施することが必要とされる。

本研究の課題としては、DS実験に基づく車両挙動と実際の当該区間での車両挙動の差異がどの程度発生しているのかについては把握し、今後DSを用いた実験を行う場合の設定方法やDSから得られる結果を現実の道路で反映させるための方法については考慮する必要がある。

今回DS実験を行うにあたり、ごく限られた条件設定の下で実験を実施している。例えば、自車両の速度を統制するための追従走行、そのための周辺車両の速度や車両密度、走行車線等が挙げられる。実験、分析、評価の都合上、ある程度の統制した上で実験を行うことは避けられないが、実際の道路では様々な交通状態が混在している。今後は、実際に交通事故が多発するその状況における環境下での

実験設定を行うことが必要である。さらには、今回は断面速度や車線逸脱割合を用いて分析を行ったが、DSからは、被験者車両、周辺車両の加減速度や速度変化、またそれらより計算される相対速度、相対距離等のデータも収集可能であり、交通事故削減に向けては、多角的な視野を持ち、詳細分析を通じた現象把握が期待される。

謝辞：本研究の遂行にあたっては、国土交通省中部地方整備局に交通安全対策内容や交通事故に関するデータ提供を賜りました。また、DS 実験では多くの被験者に協力を賜りました。ここに記して、謝意を表します。

8. 引用文献

- 1) 平成 26 年警察白書 交通事故発生件数の推移, 警察庁 : <http://www.npa.go.jp/hakusyo/h26/data.html> (2015.4.24 時点)
- 2) 篠原一光 : ドライビングシミュレータを活用した研究の動向, 交通科学, Vol.37, No.13, pp.1-2, 2006.
- 3) 大蔵泉 : 交通安全研究ニーズとそのアプローチ, 土木計画学研究・講演集, Vol.16(2), pp.155-160, 1993.
- 4) 斉藤和夫 : 事故危険度評価方法に関する調査研究の概観 (I), (II), 交通工学, Vol.15, No.6,7, pp47-54, pp37-48, 1980.
- 5) 斉藤和夫, 田村亨, 山田稔, 浜岡秀勝, 安井一彦, 本間正勝, 萩原亨 : 交通安全研究のレビューと今後の課題, 土木計画学研究・講演集, Vol.16(2), pp143-154, 1993.
- 6) 小川圭一, 土井和広, 久坂直樹 : 交通安全対策の検討に対する簡易ドライビングシミュレータの応用可能性, 交通科学, Vol.37, No.1, pp.46-57, 2006.
- 7) 佐藤稔久, 柳津祥子, 赤松幹之, 中里佳行 : ドライビングシミュレータを用いたトンネル内視線誘導灯の評価, 交通科学, Vol.1.37, No.1, pp.55-64, 2006.
- 8) 相馬仁, 鈴木桂輔, 若杉貴志, 平松金雄 : ドライビングシミュレータによるドライバ特性の把握と運転支援機能の評価, 国際交通安全学会誌, Vol.26(2), pp.96-102, 2001.
- 9) 圏分三輝, 古西浩之, 樋口和則, 倉橋哲郎, 梅村祥之, 西博章 : ドライビングシミュレータによる高齢ドライバの運転行動とリスク知覚の分析, 電子情報通信学会技術研究報告. SSS, 安全性, 103(395), pp21-24, 2003.
- 10) 伊藤安海, 根本哲也, 久保田怜, 松浦弘 : 高齢者ドライバーの安全運転対策におけるドライビングシミュレータの活用と課題, 交通科学, Vol.41, No.2, pp.18-23, 2010.
- 11) 橋本幸樹, 尾崎悠太, 金子正洋 : 交通事故対策を目的とした路面表示の設置効果に関する研究, 第 31 回交通工学研究発表会論文集, pp.111-114, 2011.
- 12) 出口近士, 板敷繁利, 小野市春 : カラー化等の交差点の交通事故対策と改善効果, 第 27 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.89-92, 2007.
- 13) 蓑島治, 金子正洋, 小金知史 : 追突事故防止を目的とした法定外路面表示の設置がドライバーの運転挙動および注視挙動に及ぼす効果, 第 29 回交通工学研究発表会論文集, pp.89-92, 2009.
- 14) 安岡洋平, 沖野一志, 田島淳, 柚原直弘 : 交通状況を創発するドライビングシミュレータを用いた交通事故対策の効果評価, 第 28 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.21-24, 2008.
- 15) 日笠誠, 飯田克弘 : 路面標示を用いた都市高速道路合流部における事故防止策の検討, 第 32 回交通工学研究発表会論文集, pp.139-146, 2012.
- 16) 河田明博, 永見豊, 清宮広和, 中川浩 : 速度抑制を目的とした路面標示パターンの DS 評価および効果検証, 第 32 回交通工学研究発表会論文集, pp.171-176, 2012.

(平成27年 7 月12日受付) (平成27年 8 月31日受理)