

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*

An simulation analysis on driver's behavior and mental state in driving
along the tentative two-lane expressway*

久坂直樹**・宮本賢治***・土井健司****・辻幸英*****・土井和広*****

By Naoki KUSAKA**・Kenji MIYAMOTO***・Kenji DOI****・Kouei TSUJI*****・Kazuhiro DOI*****

1. はじめに

高速道路上の事故では、平成16年7月東海北陸自動車道と磐越自動車道、平成17年1月高松自動車道において発生した暫定2車線（対面通行）区間における対向車線への飛び出しによる重大事故が発生している。全国の暫定2車線区間の死亡事故率と致死率は、いずれも全高速道路の約3倍（H12～16）となっている¹⁾。その背後には、暫定2車線区間で車線の境界へのポール設置による中央分離帯形式が多く採用されており、対向車線への飛び出し事故を防止できていないという実態が存在する。こうした事故への対応策として、中央分離帯の構造形式を変更・改築し、反対車線に乗り越えないようにすること、もしくは中央分離帯をはみ出させないような走行環境を創出することの2通りが挙げられる。このように中央分離帯を変更・改築することは、ドライバーの運転挙動と心理特性（安心感）に影響を与え、さらに安全性の向上に資することが期待される。

上記の状況に鑑み、本研究ではこうした暫定2車線区間の中央分離帯構造の問題に着目し、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性についてドライビングシミュレータ（以下DS）を用いて分析する。それにより、今後、暫定2車線区間の安全性の向上のための基礎的データとすることを目的とする。

本研究は、CGで再現した実在区間をDSで走行するため、体感加速の模擬再現が可能な小型かつ道路データの構築など汎用性の高いDSが必要となった。そこで、東京工業大学が開発した『MOVIC-T4』²⁾⁻³⁾をベースに改良したDS（MOVIC-T4S）を用いるものとした。

使用するDSは、具体的には2つの改良が施されて

*キーワード：交通安全，交通行動分析，ドライビングシミュレータ

**：正員，パシフィックコンサルタンツ㈱大阪本社

（大阪市中央区安土町二丁目3番13号，

TEL06-4964-2552，FAX06-4964-2553）

***：工修，香川大学大学院工学研究科（香川県高松市林

町2217-20，TEL087-864-2000，FAX087-864-2031）

****：正員，工博，香川大学工学部

*****：正員，パシフィックコンサルタンツ㈱大阪本社

*****：正員，パシフィックコンサルタンツ㈱大阪本社

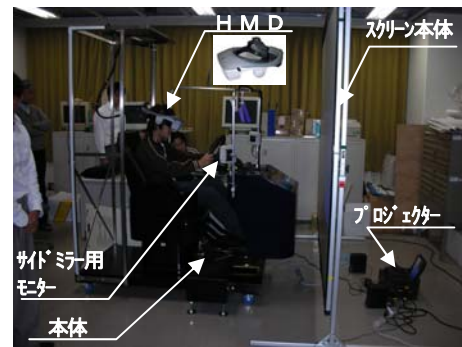


図-1 DSシステム（HMD使用時）

いる。1つ目は、本体の小型化のため両機体とも、体感加速の模擬再現を小型の2軸モーションベースで採用していること、2つ目は被験者の自由な視野（360度）を再現するため、被験者の頭（首）の向きに反応するフルゴーグルタイプのヘッドマウントディスプレイ（以下HMD）を採用している（図-1）。

2. DS実験の概要

（1）実験の目的

実在区間の中央分離帯構造を実験として変更・改築し、走行データを入手することはコスト面や被験者の安全面等実現性が低い。そこで、本研究では、CGという仮想空間を用いて中央分離帯構造の代替案を構築した。それらの代替案をDSによって走行することで、構造形式の違いによるドライバーの運転挙動と心理的变化を把握し、その関連性を分析しようとするものである。今後これらは、暫定2車線区間の安全性向上のための基礎データとなると考えられる。

なお、本研究における実験は平成19年度以降に実施予定の本格実験前のプレ実験として位置づけており、本格実験に向けた課題や改善項目の把握を行った。

（2）実験の流れ

a) 中央分離帯構造の対策案を抽出

「物理的構造改良」と「視覚誘導的改良」の2方針で暫定2車線区間の安全性を高める比較対策案（11案）を抽出した（表-1，図-2）。

表-1 比較対策案一覧

対策形式	案	対策	補足
物理的構造 改善	A案	フロリダ型コンクリート製中分	視線誘導標付き
	B案	薄厚フロリダ型中分	鋼板使用
	C案	ミニガード	
	D案	板状鋼構造	高剛性鋼板
	E案	ガードケーブル	緊急時開放式
	F案	連続縁石Ⅰ	縁石ブロック連続+ポール
	G案	連続縁石Ⅱ	ゴムリブ付き台形ブロック連続+ポール
視覚誘導的 改良	H案	ポール設置間隔短縮	ポール設置間隔2.0m
	I案	背高ポール設置	ポール高さ1.2m
	J案	発光錐	中央線赤色、路肩端黄色
	K案	レーンライティング	白線上、10m間隔

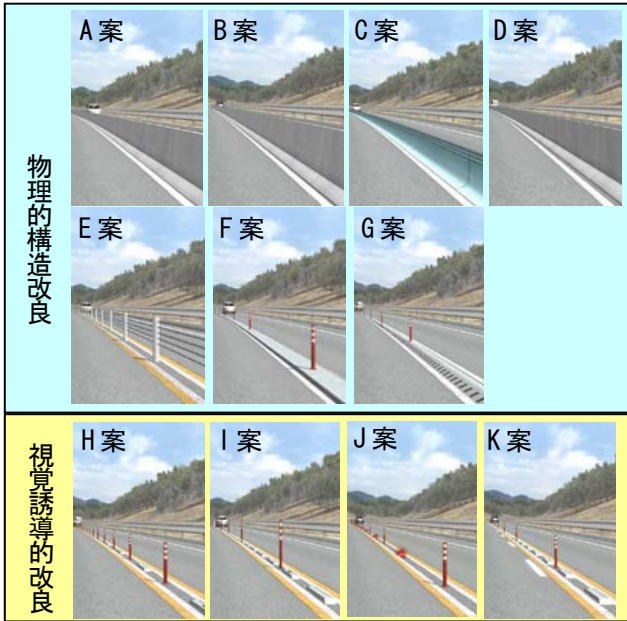


図-2 比較対策案イメージ一覧

b) CG視聴実験による対策案の選定

効果的にDSによる実験を行うため、CG動画（走行シミュレーション画像）を用いた実験（CG視聴実験）をDS実験前に実施し、DS実験を行う対策案を絞り込む。なお、CG視聴実験では複数の被験者にCG動画を視聴してもらい心理的要素をアンケート形式で抽出し対策案を絞り込んだ。

c) DSデータの構築

DS構築区間は四国内の高速道路の一部（約5km）を対象に、中央分離帯構造について既往構造（以下：既往）と完成2車線（以下：完成）断面の他3案を構築した。

d) DS実験

構築した計5案に対して、被験者によるDS実験を実施した。DS実験では運転挙動に関するデータ、アンケートによる心理的要素の抽出を実施し、運転挙動と心理的指標の関係分析を行った。

3. CG視聴実験による対策案の選定

(1) CG視聴実験の概要

表-1の比較対策案からDS実験を行う対策案を選定

表-2 アンケート項目

項目	ねらい
車線幅員が広く感じる	「広く感じる＝圧迫感が無い」とし、安定した運転を促す。
スピード感を感じる	「スピード感を感じる」場合は減速を促せる可能性があり安全性が増す。
安心感がある	接近する対向車両に対する感覚を抽出。安心感はある安定した運転を促す。
中分の存在が気にならない	中央分離帯の存在に気をとらわれずに運転することで安定した運転を促す。
印象度	良い印象か悪い印象の対策案を一つ選択

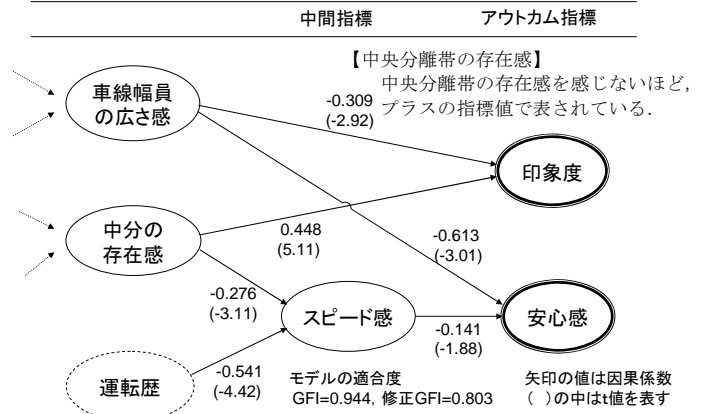


図-3 心理指標の因果関係図

した。各案のCG動画を（約3分/案）作成し、被験者に視聴してもらい、心理的要素をアンケート形式で抽出し対策案を絞り込んだ。CG視聴実験は2回に分けて行い、被験者23名に対してアンケート調査を実施した。アンケートでは、ドライバー視点での感覚を問うことを主眼におき、表-2の項目の感度の程度を5段階で各案のCGを見ながら直感で回答する方式を採用した。

(2) CG視聴実験の結果と考察

アンケートより得られた心理指標（印象度以外は5段階評価）を分析した結果、図-3に示す因果関係が示された。因果関係図より以下のことが言える。

- 「車線幅員の広さ感」は、「印象度」および「安心感」に負の影響を及ぼしている。（広く感じるほど、負のアウトカムを生む）
- 「中央分離帯の存在感」は、「印象度」の良さに正、「スピード感」に負の影響をおよぼす。（存在感を感じない程印象度が高くなり、存在感を感じる程速度感が増す）
- 「速度感」は「安心感」に対しては、概ね負の影響を及ぼしている。（速度感を感じないほど安心感が増す）

図-3より、DS実験ケースの為の絞り込みは、アウトカム指標と位置づけられる「安心感」と「印象度」の2つの指標で行うものとした。

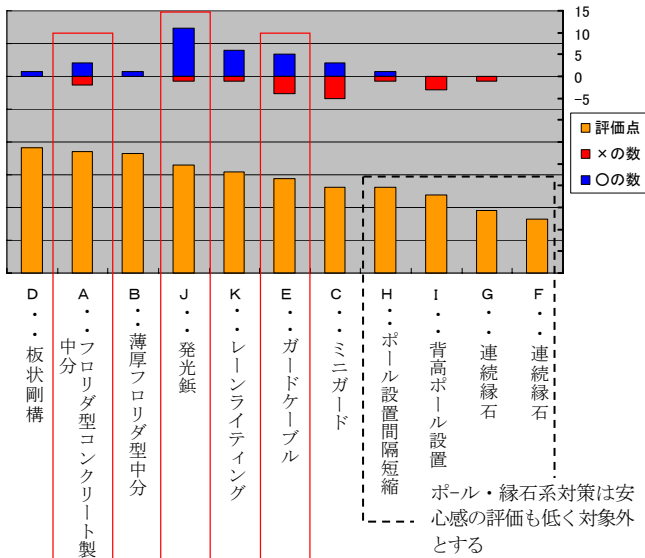


図-4 被験者の安心感と印象度の評価

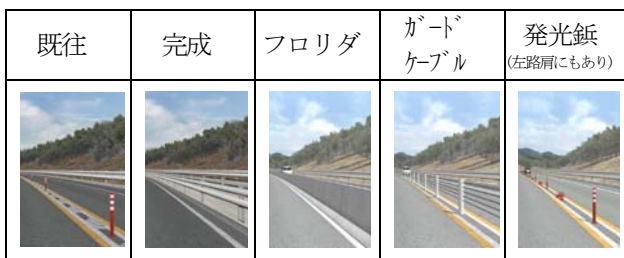


図-5 DS実験における比較対策案

(4) 対策案の絞り込み

図-4は安心感（左軸：5段階評価平均値）と印象度（右軸：良い印象を正、悪い印象を負とした得票数）のアンケート結果である。安心感の高得点と印象度の得票数から、以下の3案をDS実験に採用するものとした。

- 壁式中央分離帯 (DAB案) の代表：フロリダ型
- 視線誘導系対策 (JK案) の代表：発光鈺
- 特殊構造中分 (ECH案) の代表：ガードケーブル

4. DS実験の結果と考察

(1) DS実験の概要

CG視聴実験により抽出された対策案3案（フロリダ型、ガードケーブル、発光鈺）に加え、既往構造と道路構造令を満足する完成2車線断面の計5案（図-5）の中央分離帯を、四国内の高速道路の一部（最小曲線半径1,000m・最急縦断勾配4%のトンネル区間を含む約9km）を対象としてDSを構築した。

DS実験は香川大学工学部において7日間（2007/03/17～23）行った。被験者数は53名で年齢構成は若年層20代21名、中年層30～50代12名、高齢層60代以上20名である。DS実験で、各被験者に『既往⇒対策1案⇒既往or完成』を走行して頂き、表-3に示すサンプル数（異常値を除く）が得られた。実験スケジュールや被験者個人の

表-3 年齢層・構造別のデータ数

	中央分離帯の構造					合計
	既往	完成	フロリダ	ロープ	発光鈺	
若年層	25	11	1	5	7	49
中年層	13	5	2	3	3	26
高齢層	21	7	9	4	2	43
合計	59	23	12	12	12	118

表-4 各指標間の差の検定

	年齢	構造		年齢	構造
速度平均値	25.60	1.72	SPL 平均値	0.84	0.28
速度偏差値	6.94	0.92	SPL 偏差値	5.28	1.37
速度変動率	18.04	1.68	SPL 変動率	4.99	0.80
加速平均値	23.38	1.48	幅員広さ感	0.29	0.69
加速偏差値	7.05	1.81	速度感	4.89	2.47
加速変動率	16.13	2.73	安心感	0.60	5.78
位置平均値	0.92	0.25	中分存在感	1.02	2.60
位置偏差値	1.92	0.38	印象度	0.03	1.43
位置変動率	1.23	1.05			

スケジュール等の関係からデータ数が足りない組み合わせが発生しており、サンプル数が5未満の組み合わせについては除外し、分析を行った。

今回のDS実験では、DS機器より入手可能な「速度、加速度、車線走行位置」を運転挙動指標データとし、加えて、身体への影響を把握する手法として、精神性発汗量（以下発汗量）を計測するSPL（皮膚電位水準）値測定機器をDSシステムに構築し、他の運転挙動指標と連動してSPL値を計測した。SPL値計測機器は被験者の腕と掌に電極を装着し運転中のリアルタイムな発汗量を記録できる。

(2) DS実験の分析結果

実験条件（年齢階層×中央分離帯構造）別の指標値と年齢、中央分離帯構造の相関関係が表-4である。中央分離帯構造間の差が心理指標値に現れるため、中央分離帯構造間の評価は、心理指標値を中心に行うものとした。なお、赤字はt値が2以上の条件を表している。

次に実験条件別データに基づく指標値間の相関関係は表-5であった。速度感と安心感、中分の存在感と印象度に高い相関があり、また特に速度感と多くの運転挙動指標値との間には高い相関が見られる。幅員広さ感と走行位置の偏差値との間にも高い相関が認められた。上記分析結果から、図-6に示す要因間の因果関係、および心理指標と運転挙動指標との対応関係が得られた。速度感や幅員の広さ感などは心理指標と運転挙動指標の直接的対応付けが可能であり、DS実験では心理指標と運転挙動指標の両データを取得することは有効である。また、運転挙動である速度・加速・位置・発汗の4要素すべてに関する指標が心理的要素と高い相関を有しており、実験でのアウトプットとして有効であることが判明した。

図-7は共分散構造モデルを用いて安心感に関わる因果関係の検証結果である。幅員を狭く感じるほど速度を感じることも、また、中央分離帯の存在を意識しないほど

表-5 実験条件別データに基づく指標値間の相関

	広さ感	速度感	安心感	中分感	印象度
幅員広さ感	1	0.167	-0.166	0.377	-0.273
速度感	0.167	1	-0.632	-0.275	-0.461
安心感	-0.166	-0.632	1	0.287	0.387
中分存在感	0.377	-0.275	0.287	1	0.615
印象度	-0.273	-0.461	0.387	0.615	1
速度平均値	-0.089	-0.665	0.079	-0.149	-0.138
速度偏差値	-0.310	0.426	-0.033	0.247	0.426
速度変動率	-0.207	0.524	-0.040	0.171	0.281
加速平均値	-0.166	-0.606	0.028	-0.246	-0.242
加速偏差値	0.222	0.660	-0.321	0.097	-0.077
加速変動率	0.134	0.794	-0.231	0.150	0.018
位置平均値	0.050	-0.415	0.147	-0.267	-0.472
位置偏差値	-0.825	0.136	-0.255	-0.191	0.377
位置変動率	-0.393	0.440	-0.654	-0.362	-0.284
SPL 平均値	0.189	0.027	-0.044	-0.036	-0.136
SPL 偏差値	0.122	0.679	-0.048	-0.148	-0.360
SPL 変動率	-0.065	0.767	-0.127	-0.151	-0.161

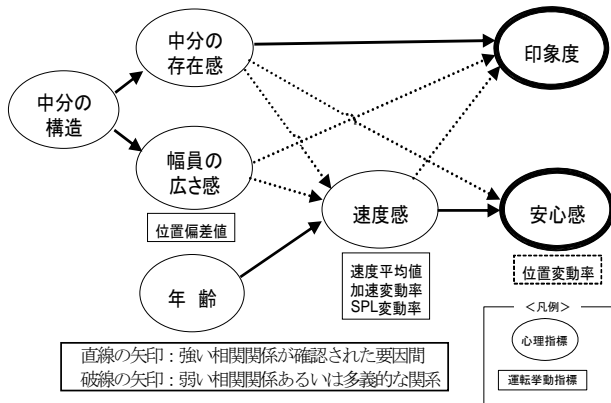


図-6 分析結果から想定される要因間の因果関係図

速度を感じることで、速度を感じるほど安心感が低くなるということが捉えられている。

以上の実験データの分析により、中央分離帯構造の違いにより受ける心理特性がドライバーの運転挙動へ影響を与えると共に、最終的には安心感への相関関係があることが判明した。本実験の目的である安全な中央分離帯構造とは安心感の高い構造形式を採用することであると読み替えれば、図-7の因果関係図をもとに、図-8ような関係が考えられる（完成は対象外）。フロリダ型およびガードケーブルは速度感について相反する要素を兼ね備えるため、データの更なる蓄積が必要である。発光鉈は速度感を下げるのに有効であり、安心感を与えるプラス要素を有する案である。

今回の実験では、アンケートから得られる心理指標とDSから得られる運転挙動指標の関連性を示したうえで、安心感を高める要素を有した案の抽出を行った。ただし、年齢層別と構造別のクロスにおいて十分なサンプル数が確保されていないケースが存在しており、すべての対策案において有効性を判断することが困難であった。

よって平成19年度実施予定の本格実験ではデータ分

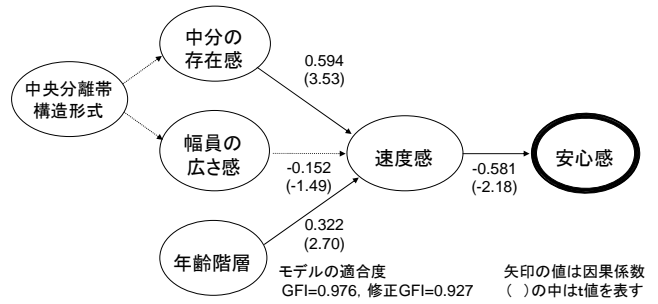


図-7 安心感に関わる要因間の因果関係図

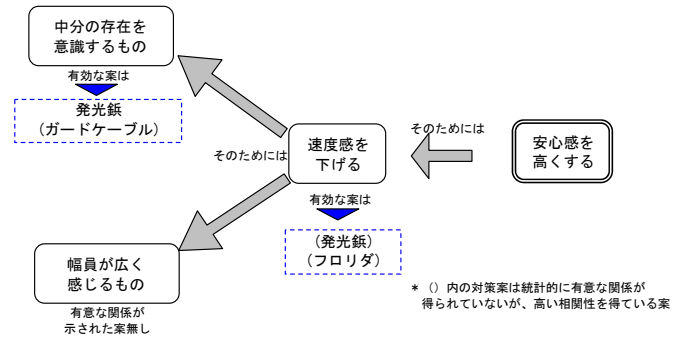


図-8 安心感を高める有効案の抽出

析に必要なデータ数を得ることにより、相関関係やその要因について、さらに検討を重ねていきたい。

5. おわりに

本研究では暫定2車線区間の中央分離帯構造に着目し、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性についてDSを用いて分析を行った。その結果、一部の運転挙動指標は心理特性と高い相関があることが示された。また、速度感を軽減させ、安心感を与える上で有効な対策案として発光鉈等が抽出された。なお、本研究ではアウトカムとして心理指標である安心感を取り上げたが、実際の走行における安全性とは同義ではない。両者の整合性についての検証は今後の課題である。

末筆ながら本研究の実施にあたり、実験被験者各位並びに実験アシスタントとして香川大学大学院北原氏にご協力頂きました。また、DSを技術的にご指導くださった東京工業大学大学院総合理工学研究科屋井教授及び平田氏、(株)トリオン高川氏他、研究にご協力いただいたすべての皆様方に感謝の意を表明いたします。

参考文献

- 1) 田中哲：非分離二車線の高速道路における事故抑止対策について、月間交通、2005年4月号、pp.5-23、2005
- 2) 山口晋弘、平田輝満、屋井鉄雄：都市内地下道路における多重衝突事故の発生メカニズムに関するVR研究、土木計画学研究・論文集、Vol134、CD-ROM、2006
- 3) 平田輝満、馬原崇史、屋井鉄雄：MOVIC-T4を活用した都市内地下道路の走行安全性に関する基礎的研究、土木計画学研究・論文集、<23>、[4]、pp.797-804、2006