

車線幅員の狭小化が運転者の心身諸活動に与える影響に関する研究

邢 健¹・平井 章²・村重 至康³・辻 光弘⁴・後藤 秀典⁵・梅田祥吾⁶

¹正会員 (株)高速道路総合技術研究所 交通環境研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠夫一丁目4-1)

E-mail: xing@ri-nexco.co.jp

²非会員 (株)高速道路総合技術研究所 交通環境研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠夫一丁目4-1)

E-mail: s.hirai.aa@ri-nexco.co.jp

³非会員 (株)高速道路総合技術研究所 交通環境研究部 (〒194-8508 東京都町田市忠夫一丁目4-1)

E-mail: y.murashige.aa@ri-nexco.co.jp

⁴正会員 (株)オリエンタルコンサルタンツ 交通技術部 (〒151-0071 東京都渋谷区本町三丁目12-1)

E-mail: tsuji@oriconsul.com

⁵非会員 (株)オリエンタルコンサルタンツ 交通技術部 (〒151-0071 東京都渋谷区本町三丁目12-1)

E-mail: gotoh-hd@oriconsul.com

⁶非会員 (株)オリエンタルコンサルタンツ 交通技術部 (〒151-0071 東京都渋谷区本町三丁目12-1)

E-mail: umeda-su@oriconsul.com

東名高速道路・豊田JCT～音羽蒲郡IC間(岡崎地区)は年末年始やGWなどの交通混雑期のみならず朝夕の通勤時間帯にも恒常的に大規模な渋滞が発生していた。そこで新東名高速道路・愛知県内区間の開通までに実現できる効果的な渋滞対策として、2011年10月21日から東名岡崎地区において、当初の片側2車線を片側3車線として弾力的に運用する暫定3車線運用が実施され、渋滞の大幅な減少が達成された。しかし、幅員の狭小化が運転者に与える影響が若干懸念されていた。

そこで本研究では、暫定3車線区間と比較対象となる完成3車線区間、完成2車線区間で実車両を用いた走行実験を実施し、運転者の心身諸活動データを収集した。また、運転中における心身諸活動の評価方法について検討を行い、路肩幅員および車線幅員を縮小する暫定3車線運用が運転者の心身諸活動にどのような影響を及ぼすかを把握した。

Key Words : *hard shoulder running, driver behavior, physiological function, driving stress, driving fatigue*

1. はじめに

東名高速道路・豊田JCT～音羽蒲郡IC間(岡崎地区)は日本国内の高速道路において最も渋滞が激しい区間の一つであり、年末年始やGWなどの交通混雑期のみならず朝夕の通勤時間帯にも恒常的に大規模な渋滞が発生していた。加えて、2012年4月の新東名高速道路・静岡県内区間の開通により、岡崎地区の交通量が増加することで更なる渋滞の激化が懸念された。そこで新東名高速道路・愛知県内区間の開通までに実現できる効果的な渋滞対策として、2011年10月21日から東名岡崎地区において暫定3車線運用が実施された(図-1)。

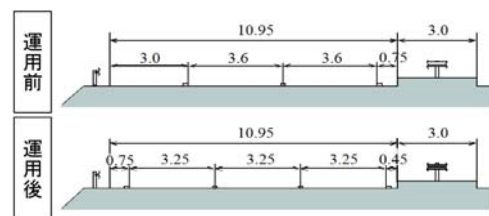


図-1 暫定3車線運用の幅員構成

これは片側2車線の道路幅の中で、拡幅等大規模な工事を行わず車線や路肩の幅員を縮小することで、片側2車線を暫定的に片側3車線として弾力的に運用するものであり、この運用により交通集中渋滞の大幅な減少のみ

ならず、交通事故の減少にも寄与した^{1) 2) 3)}。しかし、車線幅の狭小化が運転者の心身諸活動に与える影響が若干懸念されている。

そこで、本研究では暫定3車線運用などの道路横断構成の運用改善を他の要対策箇所にも適用させるため、暫定3車線区間である東名高速道路・豊田JCT～豊川IC間(完成2車線区間を含む)、および比較対象として完成3車線区間である東名高速道路・横浜青葉IC～秦野中井IC間で実車両を用いた走行実験を実施し、運転者の心身諸活動データを収集した。

また、実験により収集したデータを用いて複数の指標について整理・比較分析することで、運転中における心身諸活動の評価方法について検討を行い、路肩幅員および車線幅員を狭小化する暫定3車線運用が運転者の心身諸活動にどのような影響を及ぼすかを把握した。

2. 研究の方法

(1) 研究の手順

本研究は図-2に示す手順で実施した。

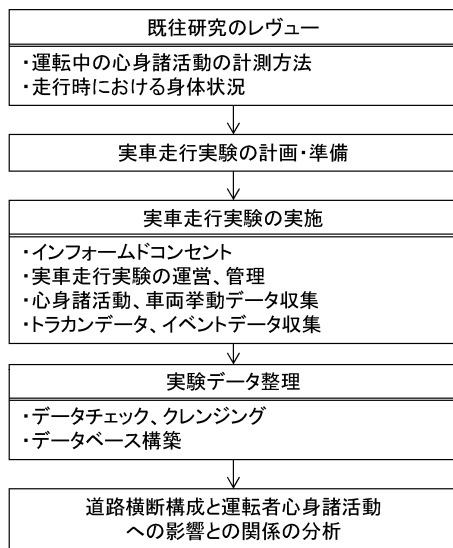


図-2 研究の手順(フロー)

(2) 心身諸活動の計測方法

心身諸活動の計測、評価については、様々な手法が研究されている。

本研究においては、車線幅員の狭小化が運転者の心身諸活動に及ぼす影響を把握することを目的としているため、運転中の緊張感を計測可能な生体センサーによる心拍変動の計測を主体とし、一部の被験者に対してはアイマークカメラを用いて注視点の計測を実施した。また、各走行前後にフリッカー計測器により疲労感を計測した。

さらに運転者の主観的な評価として疲労感や緊張感などについてのアンケートを実施した。

(3) 運転者の心身諸活動の評価方法

運転行動を含めた人間の種々な生活行動と直接的、間接的に関係がある心拍応答が自律神経系の活動に深く関与し、低周波成分(Low Frequency)と高周波成分(High Frequency)の比(以下「LF/HF」)の多寡が交感神経系の働きの高低を現わすことが明らかになっており、その分析法についても確立されている。

既往研究では^{4) 5)}、東名高速道路大井松田IC～御殿場IC～沼津IC各間の往復実験走行における若齢ドライバー群と高齢ドライバー群の各被験者が示したLF/HF比を評価しており、この際に以下のように緊張状態を分類している。

- ① LF/HF 10以下：交感神経非緊張型
- ② LF/HF 11～29まで：やや緊張して運転をする場合
- ③ LF/HF 30以上：高速道路走行時の運転環境に伴い強い緊張状態で運転する場合

本研究では、走行時におけるLF/HFを心拍変動結果より取り出して分析し、運転者の交感神経活動の変化と運転行動との関係を分析し、運転者の交感神経活動の高低が運転時の心身諸活動に及ぼす影響を評価した。

3. 実走行実験の概要

(1) 実験のフィールド

実験は暫定3車線区間(一部、完成2車線区間を含む)の東名高速道路・豊田JCT～豊川IC間(以下、「豊田区間」という)と、比較対象として完成3車線区間である東名高速道路・横浜青葉IC～秦野中井IC(以下、「横浜区間」という)の2区間で実施した。

各区間の位置は図-3、車線構成は図-4、図-5に示すとおりである。



図-3 実験対象区間位置図

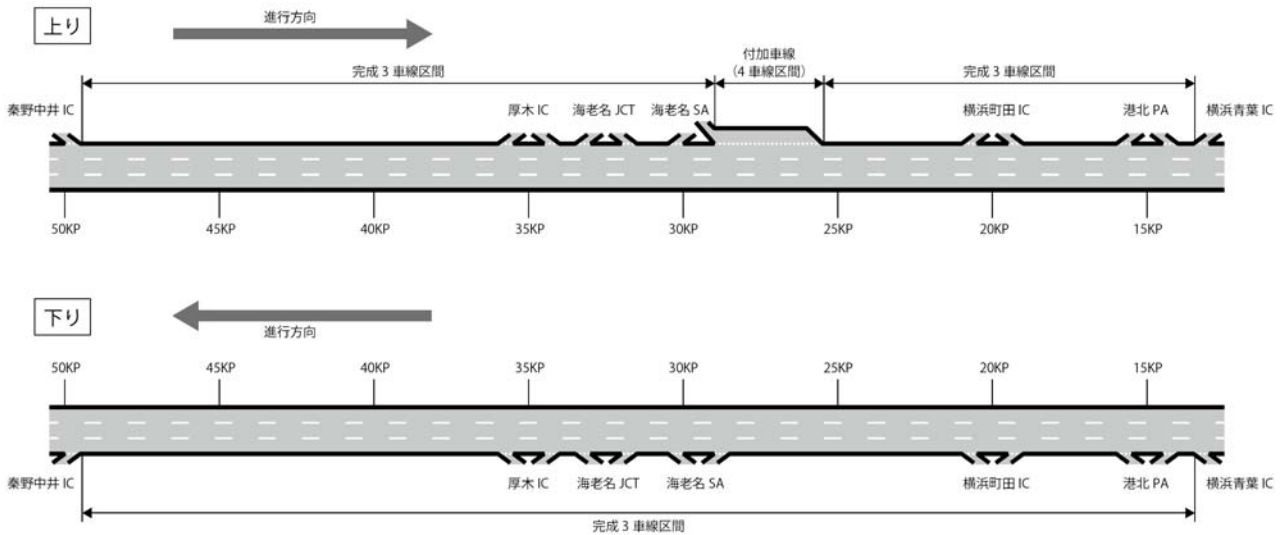


図-4 東名高速 横浜青葉 IC～秦野中井 IC間【完成3車線】の車線構成

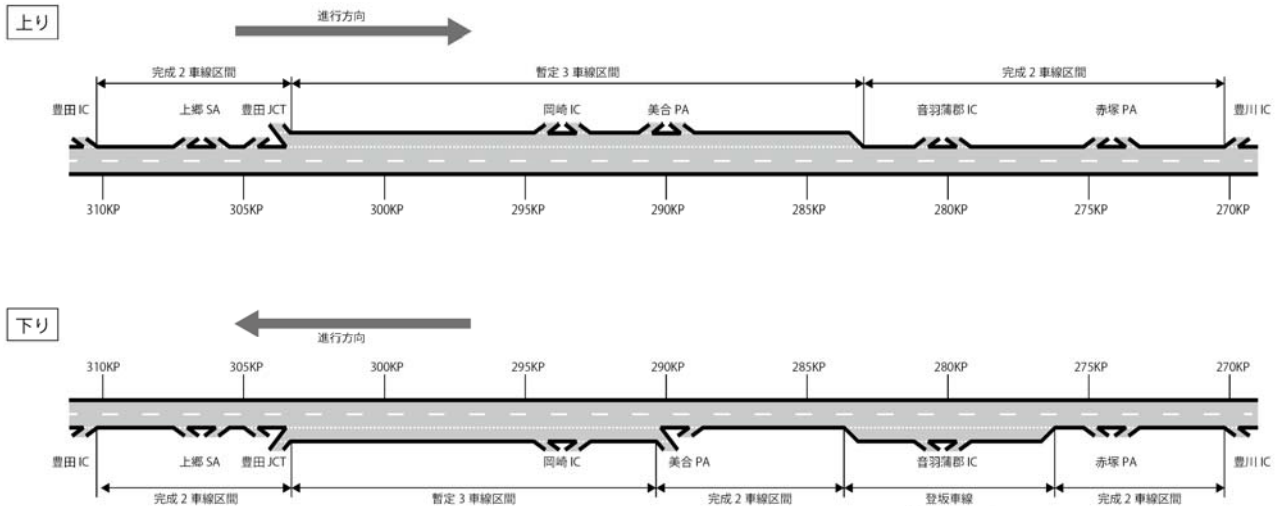


図-5 東名高速 豊川 IC～豊田 IC【暫定3車線と完成2車線】の車線構成

(2) 被験者の選定

被験者は高齢者(60歳以上)12名、非高齢者20名の計32名とした。非高齢者に関しては運転頻度と運転特性で事前にスクリーニングを実施した。

また、選定にあたっては横浜区間と豊田区間の2つの区間で走行できることを条件とした。なお、走行計画においては被験者の走行時間帯等の走行条件は2つの区間でなるべく同じになるように配慮した。

(3) 実験スケジュール

実験は先に横浜区間で平成26年1月27日～2月3日、12日(平日7日間)に実施し、次に豊田区間で平成26年2月17日～25日(平日7日間)に実施した。

実験時間は昼間は午前と午後に分けそれぞれ8:00～12:00と13:00～17:00に実施した。また夜間は各区

間で非高齢者のみ2日間18:00～22:00に実施した。

(4) 走行実験の方法

実験に際しては最初に実験内容(目的、作業内容、計測項目、実験時間)、安全保障、実験中止の権利、個人情報保護などを被験者に十分説明し、理解してもらった上で同意(インフォームドコンセント)を得た人のみ走行を実施した。

走行前に各種計測機器を被験者に装着し、フリッカー値やアンケート等のデータを取得してから実験走行を2往復実施した。3車線区間では1往復目は第1走行車線、2往復目は第2走行車線、2車線区間では2往復とも走行車線の走行となっている。

1往復目は、主に路肩幅員の狭小化による影響を把握するため第1走行車線を走行し、第2走行車線を大型車

が通過する際の瞬間的な圧迫感、区間全体のストレス状況等を把握した。

2 往復目は、車線幅員の狭小化による影響を把握するため第2走行車線を走行し、第1走行車線と追越車線の車両に挟まれている場合の瞬間的な圧迫感、区間全体のストレス状況等を把握した。

運転開始直後は、横断構成や交通状況に関わらず緊張する可能性があるため、走り出しから1インターチェンジ区間は慣らし区間とし分析対象から除外した。また、出来るだけ走行する車線を固定するため、周辺車両の走行速度に合わせて、目的車線を追従走行することとした。ただし、被験者が低速車に追従することでストレスを受ける可能性があるため、前方車両が遅い場合は適宜追い越しを行ってもよいこととした。前方車両を追い越す判断は被験者が行った。

(5) 走行体制

実験車両としてセダンタイプ（排気量 1800cc）の車を2台用意し、2台ほぼ同時にスタートした。また2つの実験区間において運転環境を合わせるため同一車種で実験を行い、カーナビによる案内、音量等は統一した。

実験は午前、午後、夜間の3パーティーに分けて1パーティーは2台とし、最大6人/日実施した。また、実験時間は、1日・1台あたり最大6時間程度（2往復）で、2台の車両は個人属性（年齢層、運転頻度）を極力一致させた。

(6) 計測項目および計測方法

実験では表-1の項目について計測を実施した。

各種機器によるデータの取得方法は以下に示すとおりである。

表-1 取得データ一覧

項目	取得データ	取得方法
運転者属性	・個人属性(年齢、運転経験など) ・運転特性(HQL 式スタイルチェックシート)	アンケート
心身への影響要因	道路状況 ・道路構造 ・平面線形、縦断線形、横断構成(幅員) ・道路付属物(道路標識類)	路線図 管理用図面 標識台帳、ドライブレコーダー
	交通状況 ・交通量、速度(実験時の交通量・速度レベル) ・渋滞、事故発生状況(特異事象の抽出)	トラカンデータ 管制イベントデータ
	運転環境 ・周辺車両の状況 ・事故、故障車の停止状況 ・気象、明暗の状況	ドライブレコーダー
	車両挙動 ・速度、加速度の変化 ・ハンドル操作(車線変更)	ドライブレコーダー
心身状況	・心電図(HR、HF、LF/HF) ・眼球運動(注視点、停留時間、サッケード回数、ヒートマップ) ・フリッカー値(疲労度) ・顔画像	生体センサー アイマークカメラ フリッカー計測器 車載ビデオ
	・疲労感、緊張感	VAS アンケート(Visual analog scale) ボイスレコーダー

a) ドライブレコーダー

ドライブレコーダーを実験車両のダッシュボードに取り付け、1秒毎にGPSデータ（緯度、経度、時間、速度、加速度（XYZ方向））、カメラ映像（前方方向、被験者顔画像）のデータを記録した。

b) 生体センサー

図-6に示したように被験者の胸部に電極（1ヶ所）を貼り付け、専用のPCにより運転中のHR、HF、LF/HFを2秒間隔（周期は30秒）で測定した。

また、運転中のデータと運転を実施していない状態との比較分析を行うため運転前に座位安静時のデータを5分間取得した。



図-6 生体センサー装着状況

c) アイマークカメラ

㈱ナックイメージテクノロジー社製のアイマークカメラを用いて前方の映像と注視点をビデオに記録した。アイマークカメラの装着自体が被験者にとってストレスとなる可能性があるため、32名中4名のみ計測を実施した。

d) フリッカー計測器

フリッカー計測器により計測されるフリッカー値とは、心理学・生理学用語で、高頻度に点滅する(フリッカー光)を被験者に見せた時、連続した光に見えるか、ちらついたり光に見えるかの境界のことをいう。視覚疲労が大きい時は数値が低く、疲労が小さい時は高くなることから疲労度を測る尺度として用いられている。本実験では実験車両内で各走行の前後にフリッカー値の測定を行った。

e) アンケート

被験者の疲労・緊張を主観的に評価するため各走行の前後にVAS(Visual analog scale)アンケートを実施した。

(7) 実験結果のデータベース化

実験結果を効率的に分析するため、実験で取得したデータについてデータベースの構築を行った。まずキロ程毎に道路構造、平面、縦断線形、横断構成を整理し、それらのデータを被験者毎、走行毎に交通状況データ、運転環境データ、車両挙動データ、心身状況データとの関連付けを行った。データベースの整理項目は表-2に示すとおりである。

表-2 心身諸活動データベース整理項目

整理項目	整理内容
属性	被験者No
	走行区間(横浜・豊田)
	年齢
	年代(高齢者・非高齢者)
	走行頻度
	運転特性(攻撃型・中間型・慎重型)
	車両(A車・B車)
	車両No.
	走行時間帯(午前・午後・夜間)
	走行回数(1~4回)
	安静時(計測時間帯)
	走行方向(上り・下り)
	構造データ
暫定3車区間フラグ	
KP	
チェックポイント	
車線数	
トンネル	
曲線半径	
1/R*1000	
縦断勾配	
道路付属物	
走行状況	舗装状況
	渋滞フラグ
	車線規制フラグ
	工事規制フラグ
	走行車線(指定車線)
	走行車線(実走行車線)
	追従状況
	車間距離
	併走車の有無(左)
	併走車の種類(左)
	併走車の有無(右)
	併走車の種類(右)
	車線変更フラグ
被車線変更フラグ	
ドライブレコーダーデータ	年月日
	時間
	緯度
	経度
	KP
	高度
	速度
	移動距離
	進行方向
	加速度X
加速度Y	
加速度Z	
生体センサーデータ	HR-Mean
	LF
	HF
	LF/HF
皮膚電位データ	CH1(掌)
	CH2(手の甲)
	CH3(前腕部)

～3,500台/時であり、豊田区間の岡崎 IC～豊田 JCT 間では上り 2,300～3,400台/時、下り 2,500～3,500台/時であり、若干横浜区間が多い状況であった。

時間変動図のとおり昼間の走行は朝ピーク時から夕ピーク時の間で実施しており、夜間の走行は夕ピーク時以降の時間帯に実施した。

豊田区間の実験期間中、中央道での降雪の影響で東名高速道路に迂回した交通のため、音羽蒲郡付近で交通集中渋滞が発生し、2日間にわたり一部で渋滞区間の走行があったが、その他の実験日、実験区間は軽微な事故・故障があったものの本実験に影響を与えるような交通障害は無かった。

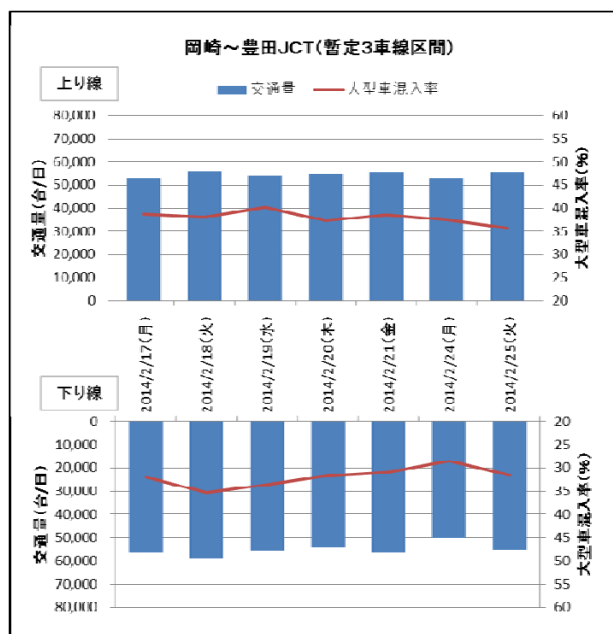
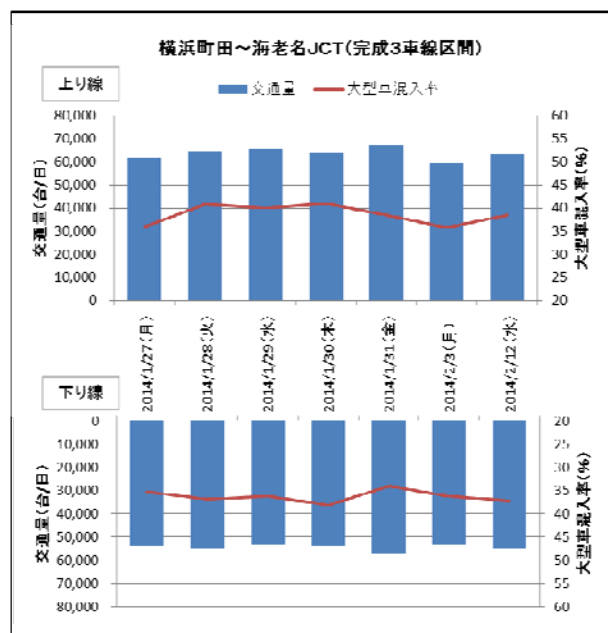


図-7 実験日の交通量・大型車混入率

4. 実走行実験の結果

(1) 実験時の交通状況

実験実施日の日交通量と大型車混入率を図-7に示す。また、実験期間中における交通量と大型車混入率の平均的な時間変動を図-8に示す。

実験期間中の片側日交通量は、横浜区間の横浜町田 IC～海老名 JCT 間で 5～6 万台、豊田区間の岡崎 IC～豊田 JCT 間でもほぼ同レベルの交通量であった。

実験時間内の時間交通量は、横浜区間の横浜町田 IC～海老名 JCT 間で上り 2,700～4,200台/時、下り 2,700

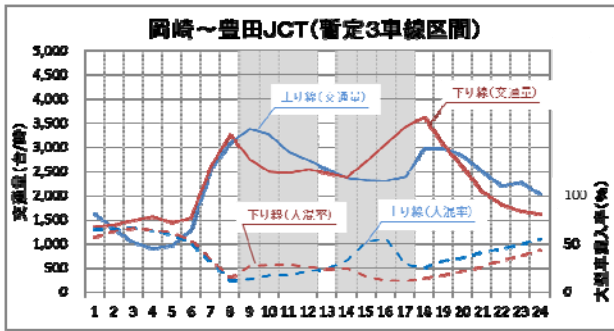
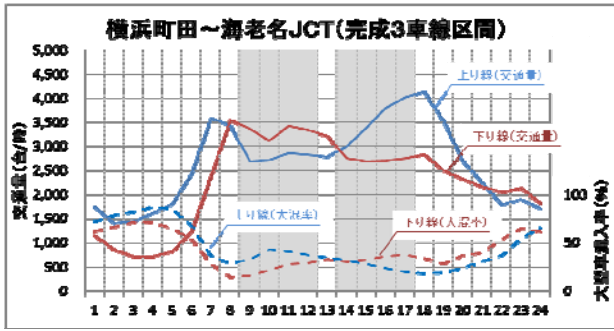


図-8 時間交通量と大型車混入率(期間平均)

(2) 実験時の心身諸活動特性

a) 全実験期間を通じたLF/HFの傾向

はじめに、全実験期間を通じた被験者の運転中の緊張感をLF/HFの分布をもとに概観する。図-9は、全被験者のうちから高齢者と非高齢者を各々1名抽出し、走行中のLF/HFの分布を車線別、上下線別に示したものである。また、図-10は全被験者についてLF/HFの中央値を横断構成別にプロットしたものである。

これらの図より、LF/HFの値は巨視的にみると、横断

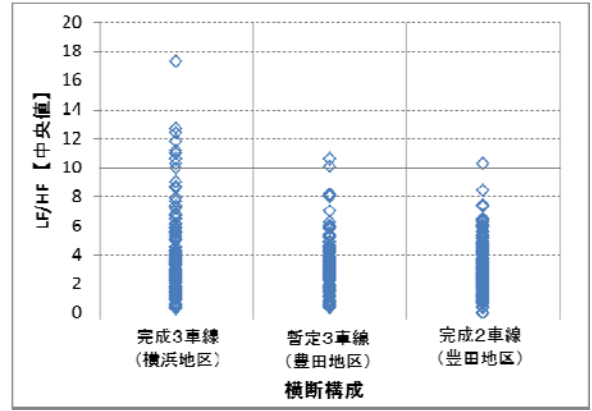


図-10 LF/HF【中央値】の分布

構成による違いはもとより、被験者や走行時間、走行区間等の違いによりばらつきがあることがわかる。ただし、交感神経非緊張と判断されるLF/HFが10以下の範囲にある。

b) 走行条件別にみたLF/HFの傾向

前項では完成3車線区間と暫定3車線区間の心身諸活動について、全実験期間のデータを巨視的に傾向を分析した。しかしながら、午前と午後と夜間では日照等の走行環境や被験者の生体リズム(サーカディアンリズム)が異なること、路肩側か車道中央か被験者が走行した車線あるいは被験者の属性によって幅員の影響のうけ方が異なることなどから、これらのバイアスも受けた横断構成の評価になっている可能性がある。

そこで、走行した車線、年齢層等で分類して、走行中のLF/HFの分布、平均値等について横断構成別に比較分析を行った。分析は全被験者のうち完成3車線区間(横

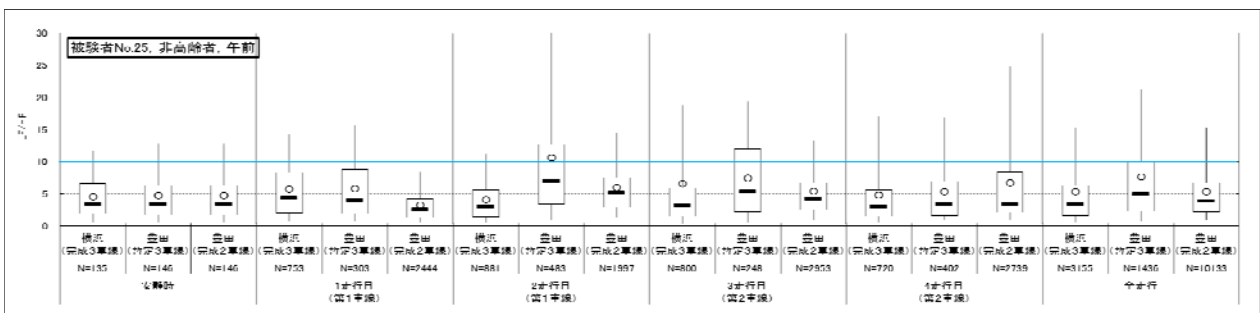
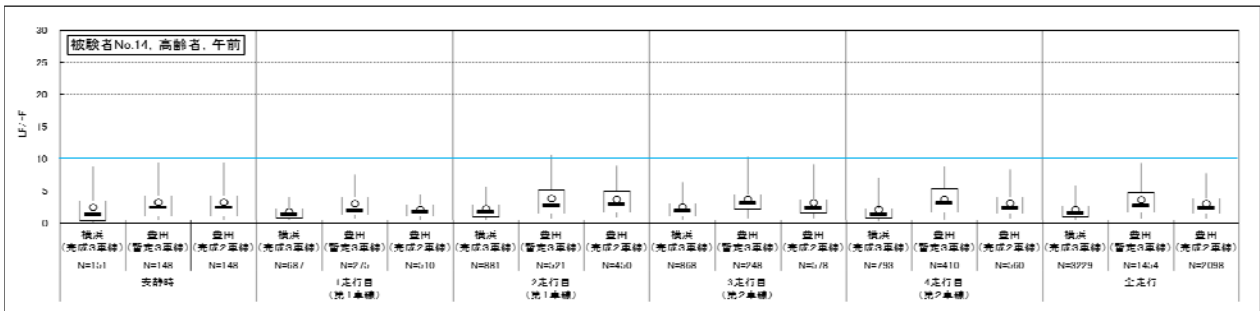


図-9 車線別・上下線別のLF/HF

浜区間)と暫定3車線および完成2車線の区間(豊田区間)で同じ時間帯に走行した被験者18名を対象とした。

図-11は、走行中のLF/HFを横断構成別に示したものである。同図よりLF/HFの分布は、完成3車線区間と暫定3車線区間で差がみられない。また、同一日、同一時間帯で走行している暫定3車線区間と完成2車線区間でもほぼ同じ分布を示している。

図-12は、LF/HFをさらに走行した車線別に示したものである。同図より昼間の傾向は、第1車線を走行したときのほうが第2車線走行時よりLF/HFが高く、夜間は第2車線の走行時が高い傾向を示している。特に豊田区間の暫定3車線と完成2車線の区間ではこの傾向が目立つ。これは、夜間の視認性の低下、大型車の増加等により第2車線のほうが圧迫感を感じやすいためと考えられる。

図-13は、LF/HFを走行した被験者の年齢層別に示したものである。同図より各横断構成とも非高齢者のほうがLF/HFが高い傾向を示している。これは、高齢者のほうが視野が狭く、周辺車両の影響を受けにくいからと思われるが、今後の分析課題である。

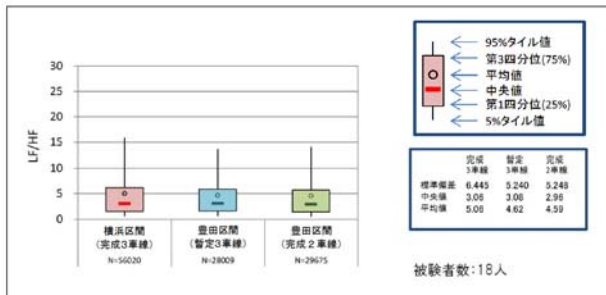


図-11 LF/HF集計結果

(3) 道路横断構成の違いが心身諸活動に与える影響

心身状況データは被験者の生体リズムや走行時の環境に左右される。そのため、実験で計測した全データを合わせて横断構成の違いを評価することは適切ではない。

そこで、以降は豊田区間と横浜区間でできるだけ類似の生体および環境の条件で走行した被験者を選定し、比較を行った。具体的には、走行中のデータに欠測がある被験者、渋滞や工事規制区間を走行した被験者を除外した上で、さらに安静時のLF/HFの平均値が横浜区間と豊田区間で同じレベルであり、かつ走行時の方が安静時よりも高い値を示す被験者を選定した。

この絞り込みの結果、午前中に走行した被験者2名、午後に走行した被験者4名、夜間に走行した被験者1名の計7名を分析対象とした。

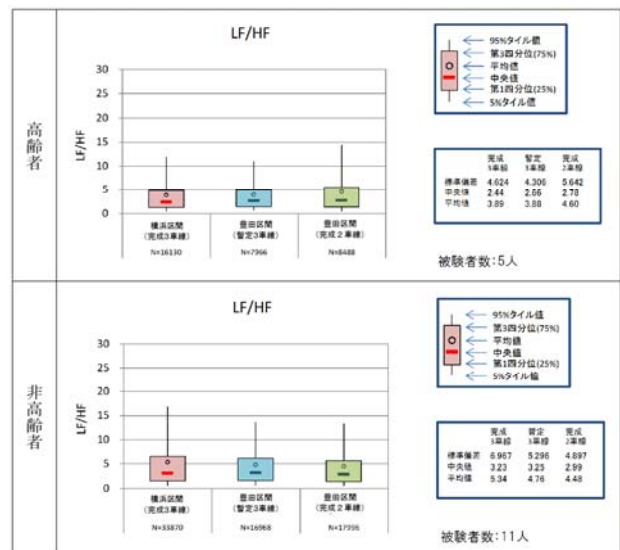
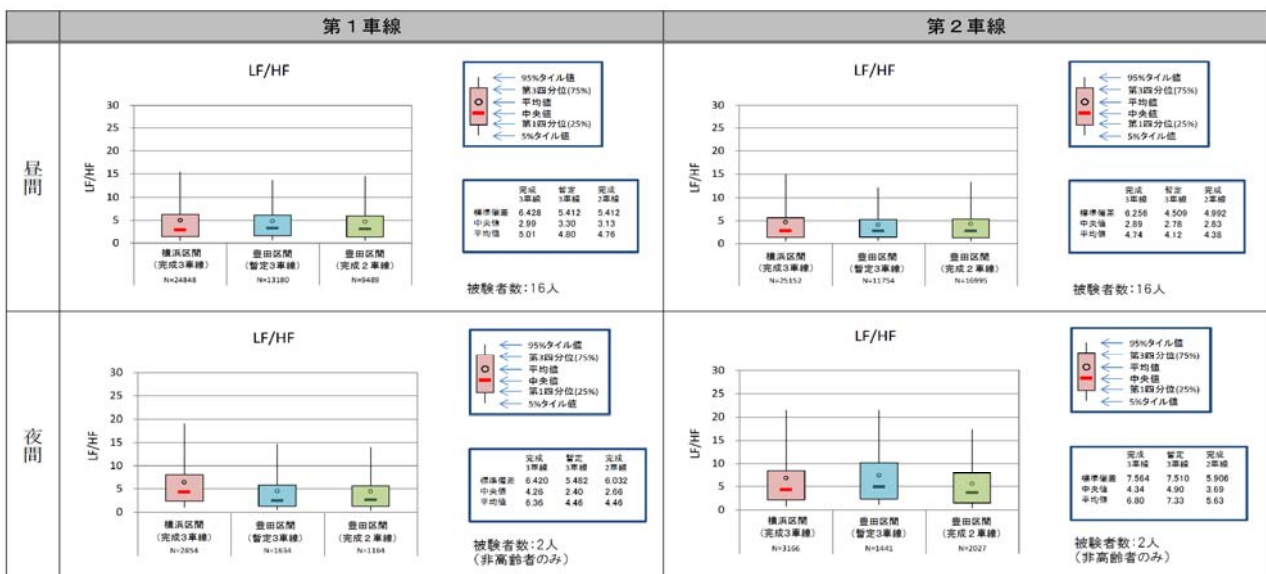


図-13 年齢層別LF/HF集計結果



※第2車線の豊田区間(完成2車線)は、第1走行車線(2往復目)走行時の値を示す。

図-12 走行車線別LF/HF集計結果

a) 運転行動と緊張感の関係に係る事例分析

運転中の心拍変動をもとに、交感神経緊張度である LF/HF を用いて高速運転走行時における運転行動を分析した。

図-13 は、分析対象とした 7 名の LF/HF の分布を箱ひげ図で表したものである。

このデータをもとに、被験者別に LF/HF が 10 未満（非緊張）と 30 未満（やや緊張）の出現頻度を道路横断構成別に集計・比較を行った。表-3 は LF/HF の出現頻度を被験者毎に整理したものである。

結果を見るとほぼ全被験者の LF/HF の値は 10 以下の交感神経が非緊張の領域に収まっており、横浜区間と豊田区間で特に大きな違いはみられなかった。これより、暫定 3 車線の区間を走行してもストレスの増はあまりないことが言える。

しかし、追い越されたり、併走したりしている状態の時には、緊張により LF/HF のレベルが一時的に上がることもある（図-14）。

これらの傾向は全 7 サンプルで共通して見られた現象であり、運転者が感じるストレスは横断構成による違いがあるとは言えない。

表-3 LF/HF の閾値以下の出現頻度

被験者No	被験者情報						LF/HF が 10 未満の割合		LF/HF が 30 未満の割合	
	横浜・走行時間	豊田・走行時間	年齢	年齢	走行頻度	運転特性	横浜地区	豊田地区	横浜地区	豊田地区
14	午前	午前	63	高齢者	月1回以下	慎重型	98.8%	95.9%	100.0%	100.0%
20	午後	午後	62	高齢者	週1回以上	慎重型	96.6%	94.6%	100.0%	100.0%
25	午前	午前	51	非高齢者	週1回以上	慎重型	75.6%	75.8%	92.9%	100.0%
4	午後	午後	46	非高齢者	月1回以上	攻撃型	80.9%	90.8%	99.0%	98.7%
26	午後	午後	38	非高齢者	月1回以下	慎重型	97.3%	91.5%	100.0%	99.4%
28	午後	午後	33	非高齢者	月1回以上	慎重型	98.6%	100.0%	100.0%	100.0%
16	夜間	夜間	40	非高齢者	月1回以上	中間型	87.6%	80.9%	100.0%	99.5%

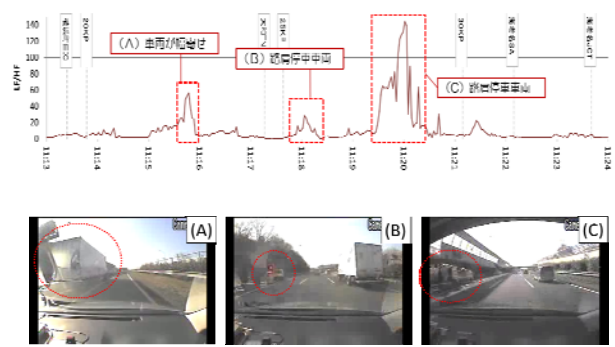


図-14 LF/HF 値が上昇した例

b) 周辺車両が存在するときの緊張感の評価

a) の事例分析では、実験車両の周辺に他の車両が存在する場合としない場合と合わせてストレスの評価を試みた。本項では、周辺車両として前方車両や併走車両が存在したときの運転者の心身活動へ与える影響を前項と同じ被験者を対象に分析する。ここで前方車両有りとは車頭距離が概ね 60m 離れている状態とし、並走車有りとは隣接車線の前方向との車頭距離が概ね 20m 以下の状態とした。

図-15 は前方車両有りのときの LF/HF の分布を横断構成別に示したものであり、図-16 は併走車有りのときの LF/HF の分布を示したものである。前方車両有りのとき、LF/HF の中央値や平均値と比較すると、暫定 3 車線区間が若干高い被験者がみられるが、分布の範囲はいずれの横断構成をみても概ね 10 以下に収まっており、幅員の違いによる影響はみられない。また、並走車が存在するときの LF/HF の分布についても同様に車線幅員による影響は特にみられない。

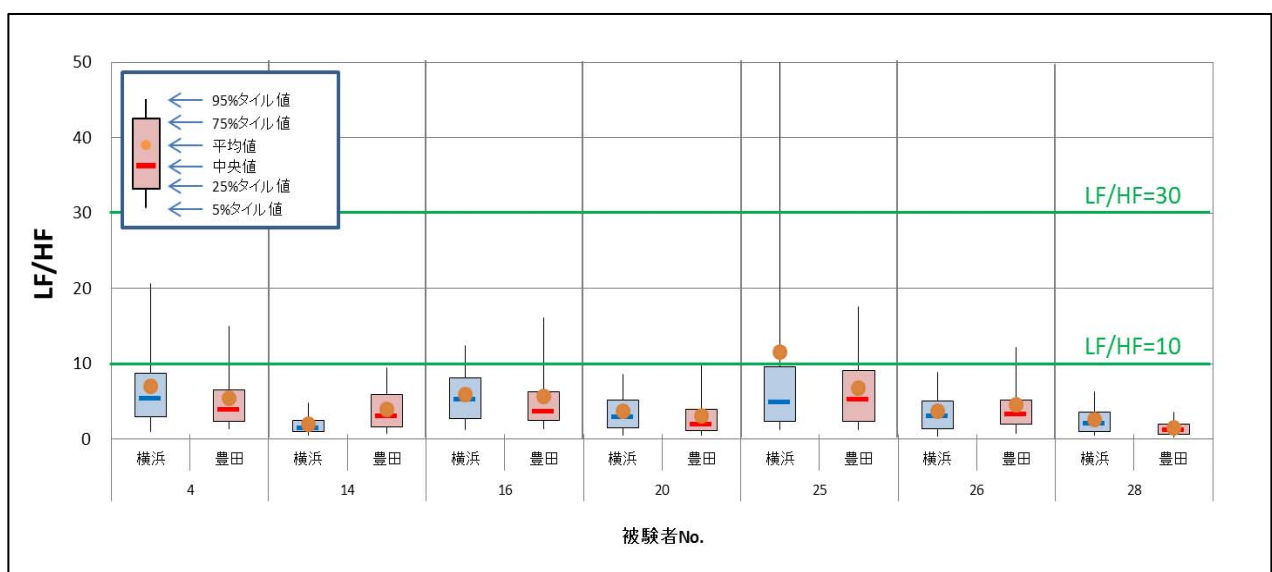


図-13 事例分析の対象被験者の LF/HF 値の分布

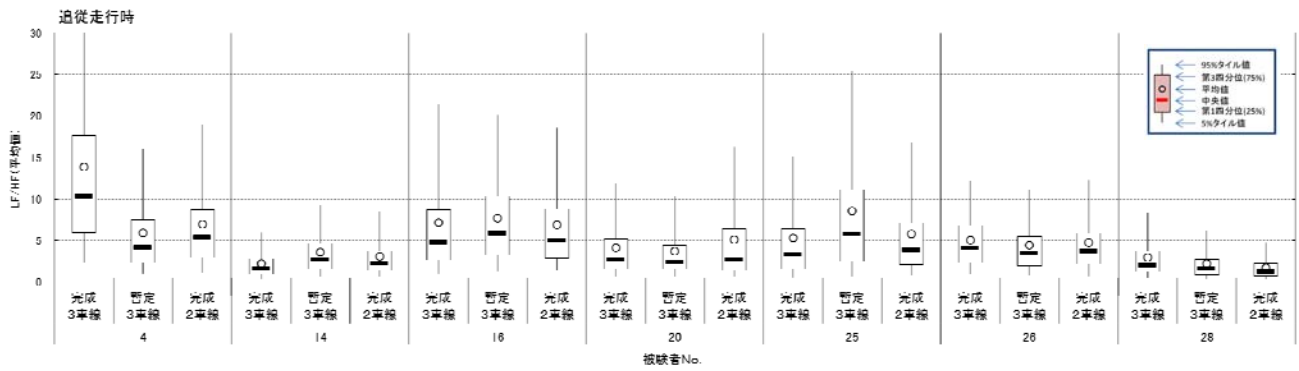


図-15 追従走行時におけるLF/HFの分布

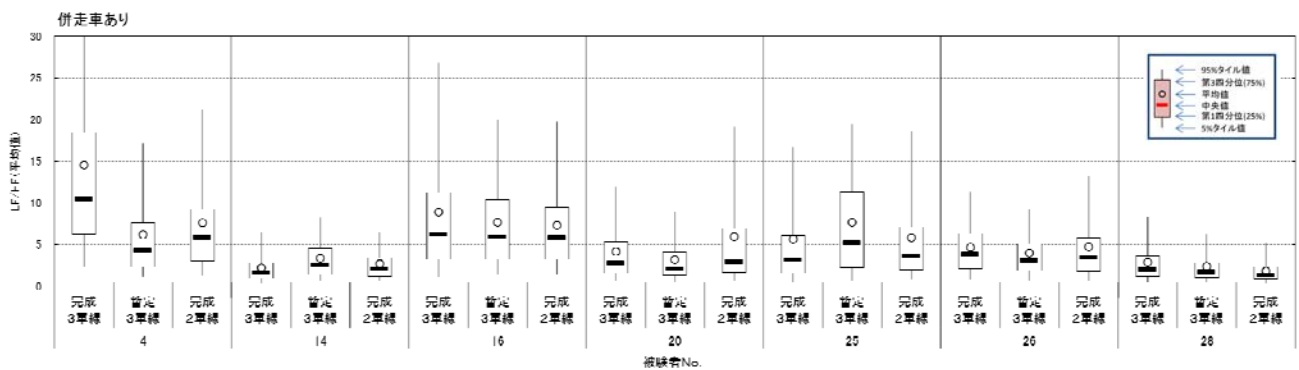


図-16 併走車が存在するときのLF/HFの分布

c) 眼球運動の分析

横断構成（幅員）の運転者の心身諸活動への影響を把握するため、眼球運動に着目した実験を実施し、横断構成（幅員）との関連性を分析した。

眼球運動に影響する要因として、運転者の経験、運転技能、道路構造、交通状況およびこれに伴う心理的な要因が考えられる。

これまでの研究では、運転状況（課題要件）が複雑になると注視時間は短くなり、周辺視パフォーマンスは混雑度（課題要件）の増大にともなって低下するとされている⁶⁾。また、危険な状況での運転中では、サッケードの移動量を小さくすることで停留時間を増大させ、視覚情報を収集していると報告されている⁷⁾。

本分析では、サッケード回数および停留時間により、横断構成が運転者の心身に与える影響を評価することとした。

i) 分析対象

実車走行実験に参加した 32 名のうち高齢者（60 歳以上）を除く 20 名から、眼球運動の実験（アイマークカメラ装着）に適した 4 名を選定した。

また、分析対象区間は、完成 3 車線区間（横浜区間）の横浜町田 IC～厚木 IC 間および暫定 3 車線区間（豊田区間）の岡崎 IC～豊田 JCT とした（ただし、計測は実験走行した全区間で実施した）。

ii) 評価方法

本分析では、サッケード回数および停留時間を評価指標とした。また、視点の数をメッシュ状に振り分けて色別、図化したヒートマップを作成し、運転者がどのあたりに視線を移しているか、どのあたりをよく見ているかを整理した。

なお、サッケードは、画面サイズを 640×480 とした場合、1 フレーム当たり 37.5 ピクセル以上移動し続けたものとした。また、停留時間は、画面サイズを 640×480 とした場合、1 フレーム当たり 18.75 ピクセル以下の変化が 100msec 以上続いた場合を停留状態とし、その連続時間とした。

iii) サッケード・停留時間の分析結果

サッケード回数および平均停留時間について、代表被験者（No.9）の分析結果を図-17 および図-18 に例示する。

サッケード回数をみると、豊田区間（暫定 3 車線）が横浜区間（完成 3 車線）を下回っている。また、平均停留時間は、横浜区間（完成 3 車線）に比べ豊田区間（暫定 3 車線）の方が長い。

図-19 は、豊田区間におけるサッケード回数の変化を時系列に示したものである。

豊田区間で分析対象とした岡崎 IC～豊田 JCT 間（暫定 3 車線区間）のサッケード回数は、豊川 IC～音羽蒲郡 IC（完成 2 車線区間）に比べ低くなる傾向が見られる。

なお、これらは、眼球運動の実験を行った4名の被験者に共通する現象であった。

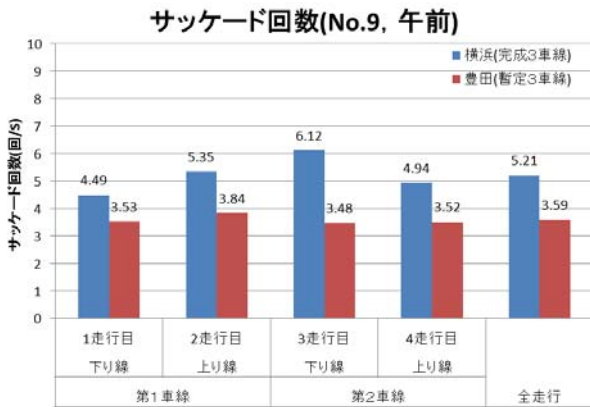


図-17 サッケード回数 (被験者 No. 9)

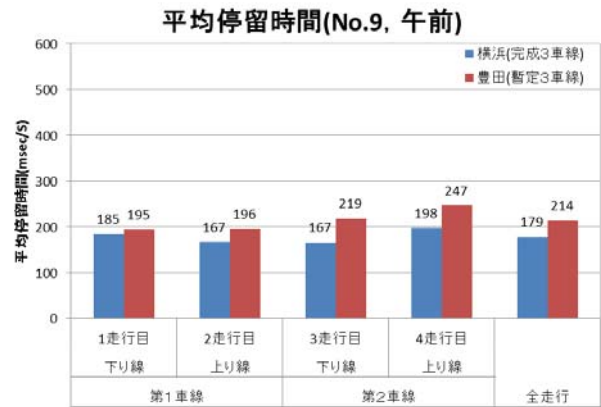


図-18 平均停留時間 (被験者 No. 9)

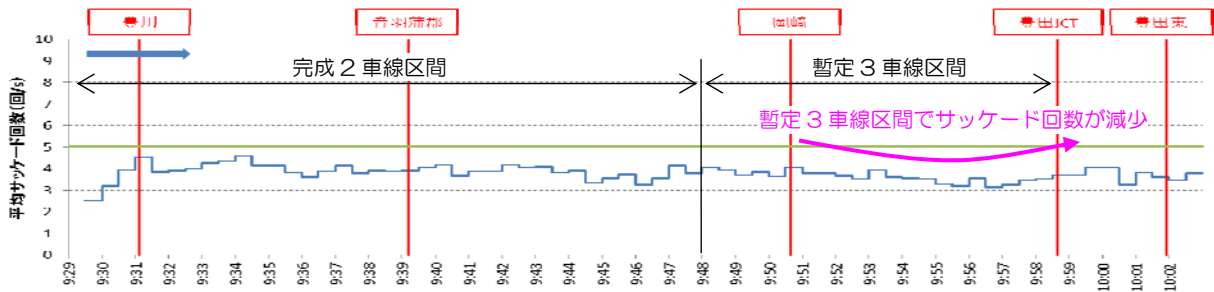


図-19 サッケード回数の時間変動 (被験者 No. 9, 第1車線, 下り線)

iv) 視点対象物の分析

サッケードの集計結果から、暫定3車線区間では完成3車線区間に比べ視点の移動が少ないことが確認されたが、具体的に何を見ているか(対象物)を整理することにより、運転者への心理的影響の変化を推測した。

図-20は、視点対象物を完成3車線と暫定3車線で比較したものである。

完成3車線では②前方車両の割合が高いのに対し、暫定3車線では⑤路面の割合が最も高い。

また、進行方向(①②⑤の計)の割合で比較すると、完成3車線が約67%であるのに対し、暫定3車線では約83%と高い。

v) 眼球運動からみた運転者の心身への影響

本分析により得られた主な知見は以下のとおりである。
 (ア) 暫定3車線区間では完成3車線区間に比べ視点移動(サッケード)が減少し停留時間が増加している。Chapman and Underwoodは危険な状況での運転中では、サッケードの移動量を小さくすることで停留時間を増大させ、視覚情報を収集していると報告しており⁷⁾、本分析結果をこの研究報告に照らし合わせると、運転者は暫

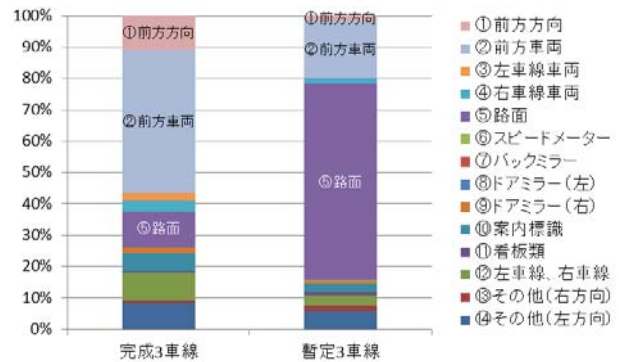


図-20 視点対象物の比較

定3車線は完成3車線に比べ危険度が高いと認識(あるいは無意識に判断)していると言える。

(イ) また、暫定3車線と完成2車線の比較においても、暫定3車線の方が視点移動(サッケード)が少ないことから、幅員(車線幅員および路肩幅員)が運転者の心身に影響を与えている可能性が高い。

(ウ) 道路構成(幅員)の違いによる視点の変化(集中・分散)は被験者により特性が異なるが、周辺車両の

状況の違いも影響している可能性がある。

(エ) 視点対象物の分析の結果、完成3車線では前方車両を見る割合が最も高いが、暫定3車線では路面（自車が走行する車線）を見る割合が最も高く、前方車両を含む「進行方向」の割合も高い。このことから、暫定3車線では、自車が走行する車線の情報をより多く収集しようとする行動がうかがえる。言い換えれば、完成3車線に比べ運転に余裕がないとも言える。

(オ) 眼球運動に影響する要因として、運転者の経験、運転技能、道路構造、交通状況およびこれに伴う心理的な要因が考えられるが、心理的影響と眼球運動の直接的な関係については、今後の分析課題である。

5. 研究のまとめ

(1) まとめ

本研究では、現在暫定3車線運用が行われている東名高速道路豊田区間と、比較対象として完成3車線区間である東名高速道路横浜区間で実車両を用いた走行実験を行い、周辺車両の状況等の走行状況データ、心拍数・フリッカー値・眼球運動などの心身状況データを収集した。また、実験で得られた各種データについて相互の関連付けを図り、車線幅員の狭小化が運転者の心身諸活動に与える影響を分析した。

分析では、心拍応答から交感神経の活性化を表すLF/HFを指標として、走行時の運転者のストレス（負荷）を評価した。また、眼球運動からみた運転者の心身への影響について分析を加えた。

研究のまとめを以下に示す。

- 1) 運転中のLF/HFを全期間でみると、横断構成の違いはもとより被験者の個人属性や生体リズム、走行の条件によりばらつきが大きくみられる。このため、車線幅員の狭小化の影響を適正に評価するには、被験者の心身の状態や実験時の走行環境を厳密に合わせる必要がある。
- 2) 暫定3車線区間での走行した車線別のLF/HFの傾向をみると、昼間では路肩側の第1車線を走行したときのほうが、中央側の第2車線を走行したときよりやや大きな値を示した。これは、側方余裕の狭小や側壁による圧迫感等が要因として考えられる。一方、夜間は第2車線を走行したときのほうがLF/HFが大きい傾向がある。これは夜間の視認性、大型車の増加等が要因と考えられる。
- 3) 年齢層別のLF/HFの傾向は、横断構成別に違いはみられなかったが、非高齢者にほうがLF/HFが高い傾向がみられた。高齢者の被験者数が少ないため一般的傾向と言い切ることは難しいが、高齢者のほうが視野が狭

く周辺車両の影響を受けにくいことが一因と思われる。

- 4) 豊田区間の暫定3車線区間と完成2車線区間についてのLF/HFの比較では、全実験期間、走行条件別のいずれでみても違いは無く、当該区間の車線幅員の狭小化による心身活動への影響は無いものと考えられる。
- 5) 横浜区間と豊田区間で、できるだけ類似の心身条件（安静時LF/HF）および走行環境条件（走行時間帯、交通量レベル）で運転した被験者に絞って、走行時のLF/HFを比較してみると、両区間ともLF/HFはほとんど10以下の交感神経が非緊張といわれるレンジにあり、この分布に差はみられなかった。このことから、運転者が感じるストレスは横断構成による違いがあるとは言えない。
- 6) アイマークカメラで計測した注視点データから眼球運動の分析を行った結果、暫定3車線区間では完成3車線区間に比べ視線移動が少なく、停留時間が増加する傾向がみられた。また、注視対象物は暫定3車線のほうが自車が走行する車線の情報をより多く収集する行動がうかがえる。これらより、車線幅員の狭小化が運転者の心理に影響を与えている可能性がある。

(2) 今後の研究課題

本研究では、暫定3車線区間と完成3車線区間での実車走行実験で得られた走行状況と心身諸活動に関するデータを用いて横断構成の狭小化が運転者の心身諸活動に及ぼす影響をある程度把握することができた。しかしながら、被験者の個人差や実験環境の相違により計測データのばらつきが予想していた以上にみられた。また、収集・計測したデータは膨大な量に達したが、分析が一部のデータに留まっていたり、緊張度の許容レベルに対する実証的なデータに対する分析が不十分である等の課題がある。また、車線幅員の狭小化による車両挙動の変化とこれの安全面からの評価についても別途研究が必要と考えている。

今後は以下の事項について検討を進めたい。

- 1) 心身状況データに影響する因子の定量的分析（運転者属性、走行時間帯、走行区間、交通量レベル等）
- 2) 運転行動の事例分析の追加による緊張度の評価基準（評価ランク）の検討
- 3) 心身状況に関する多面的な評価指標によるストレスの評価
- 4) 運転行動（速度、加減速度）の分析を通じた、安全面からの道路横断構成の評価

謝辞：本研究の実施にあたり、大久保堯夫 日本大学名誉教授、大門樹 慶応義塾大学教授、春日伸予 芝浦工業大学教授には各専門分野の立場から貴重なご助言を頂いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 近田博之, 米川英雄: 道路構造が自由流速度へ及ぼす影響の試行分析～東名高速道路岡崎地区暫定三車線を含む比較～, 第 33 回交通工学研究発表論文集, p51-56, 2013
- 2) 佐藤久長, 前田忍, 田中真一郎: 東名岡崎地区における新たな渋滞対策の試み～暫定片側 3 車線運用～, 交通工学, Vol.47, No2, p69-73, 2012
- 3) 前田忍, 田中真一郎, 森北一光, 高橋幸三: 東名高速道路岡崎地区における新たな渋滞対策の試み～暫定 3 車線運用～, 高速道路と自動車, Vol55, No.3, p35-38, 2012
- 4) 加藤象二郎, 大久保堯夫: 心拍変動の分析法, 初学者のための生体機能の測り方-第 2 版-, 東京, 株式会社日本出版サービス, p108-111, 2006
- 5) 高橋秀喜, シンジャン, 大久保堯夫, 平井章一, 近田博之: 走行実験からみる高速道路における高齢ドライバーの運転特性, 自動車技術会論文集, Vol.44, No2, 2013.
- 6) 三浦利章: 注意と眼球運動 その 2. 課題要件と情報の取り組み方, 労研維持会資料 No.1295～1297, 1991
- 7) P.Chapman and G.Underwood: Visual search of driving situation: Danger and experience, Perception, Vol.27

A study on the effect on driver's physiological functions of narrowing the widths of lanes and hard shoulder

Jian XING, Shoichi HIRAI, Yoshiyasu MURASHIGE, Mitsuhiro TSUJI,
Hidenori GOTO, Shogo UMEDA