

暫定3車線運用区間におけるドライバーの 心身活動の評価

邢 健¹・平井 章一²・村重 至康³・辻 光弘⁴・後藤 秀典⁵・大近 翔二⁶・
山口 大輔⁷

¹正会員 株式会社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 株式会社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 株式会社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 株式会社オリエンタルコンサルタンツ 交通技術部 (〒1510071 東京都渋谷区本町三丁目12-1)
E-mail: tsuji@oriconsul.com

⁵非会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ 交通技術部 (〒1510071 東京都渋谷区本町三丁目12-1)
E-mail: gotoh-hd@oriconsul.com

⁶非会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ 交通技術部 (〒1510071 東京都渋谷区本町三丁目12-1)
E-mail: ohchika@oriconsul.com

⁷正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ 交通技術部 (〒1510071 東京都渋谷区本町三丁目12-1)
E-mail: yamaguchi-di@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、過年度に実施された暫定3車線区間と完成3車線区間、完成2車線区間を用いた実走行実験の結果から運転者の心身諸活動データの整備を図り、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評価した。

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。

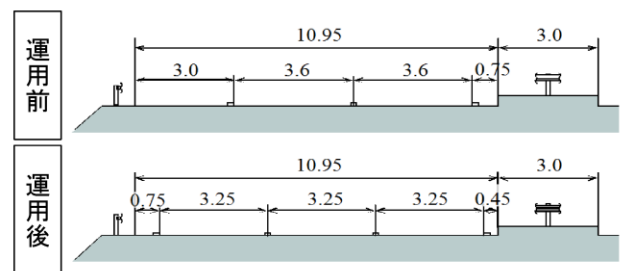


図-1 暫定3車線運用の幅員構成

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た。

そこで筆者らは、2014 年 1 月から 2 月にかけて東名高速道路岡崎地区の暫定 3 車線区間と完成 2 車線区間、および同横浜地区の完成 3 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、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心拍応答から交感神経の活性化を表す走行時の低周波成分 (Low Frequency) と高周波成分 (High Frequency) の比 (以下「LF/HF」) を指標にして分析した⁴⁾。分析した結果、いずれの区間においても走行時の LF/HF は、ほとんど 10 以下の交感神経が非緊張のレンジにあり、横断構成の縮小が必ずしもすべての運転者にストレスを与える要因ではないことを把握した。しかしながら、分析が一部のサンプルデータに留まっていたり、緊張度の評価に関する実証的なデータが不十分である等の課題があった。

本稿は、2014 年に実施した走行実験データを用いて心身状況データに影響する因子の定量的分析、および走行挙動との関係の事例分析による緊張度の評価基準の検討を通じ、道路横断構成の違いによる心身諸活動への影響を評価したものである。

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。先行研究⁴⁾では実車走行実験とこれをふまえた運転者の心身諸活動への影響について述べた。本稿では主として暫定 3 車線運用区間の心身諸活動の評価について述べる。

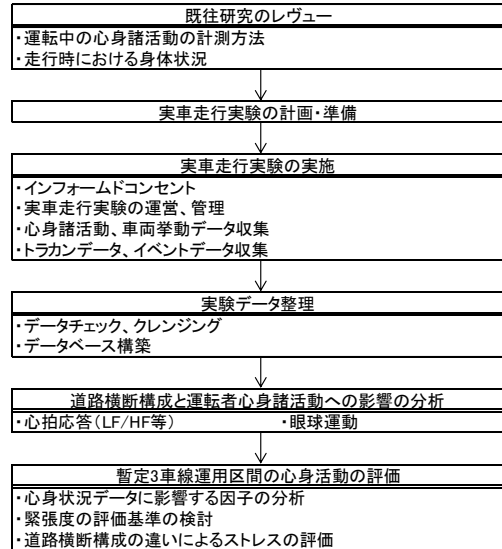


図-2 研究の手順(フロー)

(2) 実走行実験の概要

a) 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

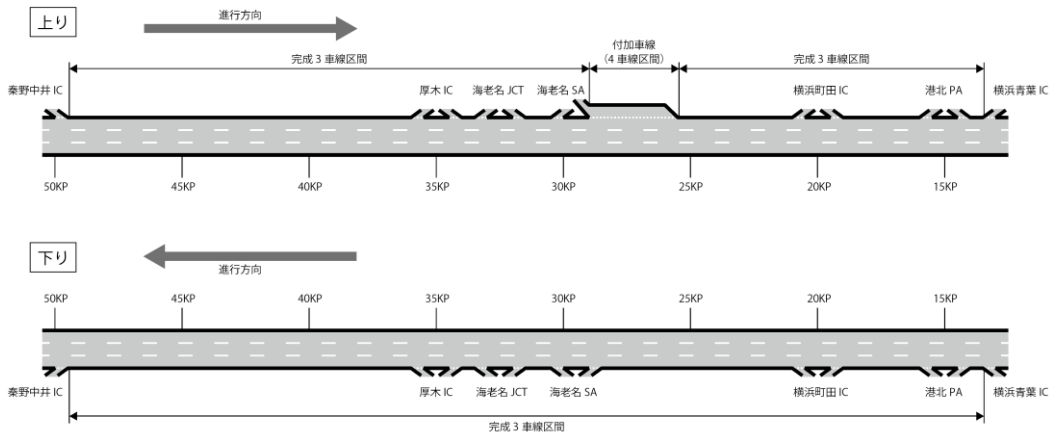


図-4 東名高速 横浜青葉 IC~秦野中井 IC 間【完成 3 車線】の車線構成

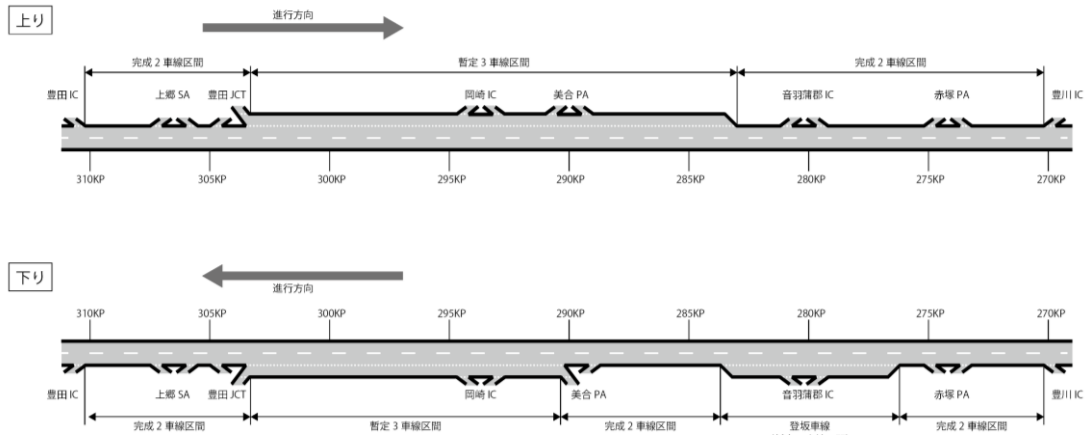


図-5 東名高速 豊川 IC～豊田 IC 間【暫定 3 車線と完成 2 車線】の車線構成

b) 実験スケジュール

実験日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 8:00～12:00, 13:00～17:00, 18:00～22:00(非高齢者のみ)の 3 時間帯とした.

c) 走行実験の方法

被験者は横浜区間と豊田区間の 2 区間両方を走行できる高齢者(60 歳以上)12 名, 非高齢者 20 名の計 32 名とした.

また, 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, 個人情報の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, 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. 運転中の前方車両を追い越す判断は被験者に任せた.

実験車両はセダンタイプ(排気量 1800cc)の乗用車を 2 台用意し, 2 台ほぼ同時にスタートした. また 2 つの実験区間で運転環境を合わせるため同一車種で実験を行った.

d) 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.

e) 実験時の交通状況

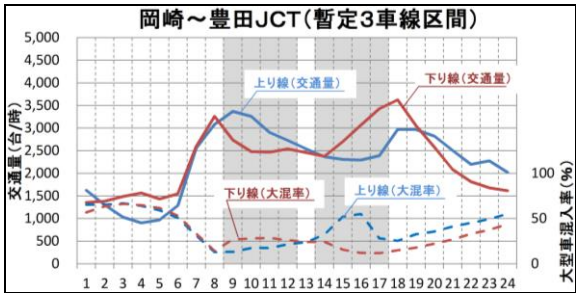
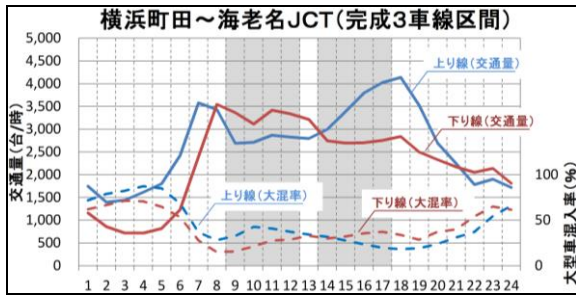
実験期間中の片側日交通量は, 横浜区間の横浜町田 IC～海老名 JCT 間で 5～6 万台, 豊田区間の岡崎 IC～豊田 JCT 間でも 5～6 万台であり, ほぼ同レベルの交通量であった.

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, 故障者の停止状況 ・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(疲労感) ・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

また, 図-6 は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図を示したものである. 実験時間内の時間平均交通量は, 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 2,700～3,500 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.

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なかった.



(注)網かけ部は走行時間帯(午前と午後)を示す。
 図-6 時間交通量と大型車混入率(実験期間平均)

(3) 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、交通挙動データ、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。

走行中の挙動は、道路横断構成の縮小による影響を詳細に把握するため図-7に示す5つの走行挙動について、発生時刻、周辺車両状況をドライブレコーダーに収録されている映像を基に読み取り、挙動が継続している時間にフラグを立てた。また、既往研究⁹⁾で人体の視聴覚体験等

表-2 実験結果のデータベース整理項目

整理事項	属性	備考
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 安静時(計測時間帯) 走行方向(上り・下り) 走行時間帯(午前・午後・夜間) 走行回数(1~4回)	
構造データ	分析対象区間フラグ 暫定3車線区間フラグ KP チェックポイント車線数 トンネル 曲線半径 1/R<1000 横断勾配 道路付属物 舗装状況	
走行状況	渋滞フラグ 車線規制フラグ 工事規制フラグ 走行車線(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 追い越しフラグ 被追い越しフラグ 追い抜きフラグ 被追い抜きフラグ 会話フラグ	フラグは該当する事象が継続している間(時間)に立てた。
交通挙動データ	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	ドライブレコーダーにより計測
心拍応答データ	HR-Mean LF HF LF/HF	生体センサーにより計測

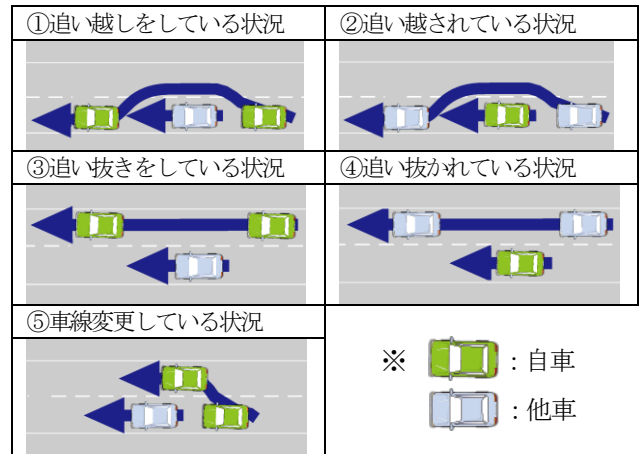


図-7 交通挙動の分類

の外的刺激が心拍数変動等の自律神経に影響を与えることが報告されており、本実験においても被験者と同乗していた調査員との会話時にLF/HFが一時的に立ち上がる傾向が見られた。このため全走行についても会話時間をボイスレコーダーの音声記録から聞き取り会話フラグを立て、心身諸活動の評価においては会話時間を除外した。

3 心身状況データに影響する因子の定量的分析

(1) 心身状況の評価指標

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、LF/HFの多寡が交感神経系の働きの高低を表わすことが明らかになっている⁹⁾。

既往研究では⁷⁾、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おり、先行研究においてもストレス評価指標としてLF/HFを用いた。

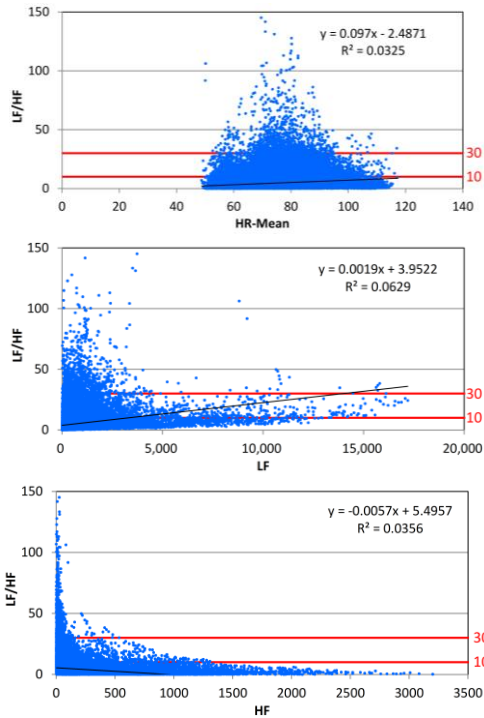
- ① LF/HF 10以下：交感神経非緊張型
- ② LF/HF 11~29まで：やや緊張して運転をする場合
- ③ LF/HF 30以上：高速道路走行時の運転環境に伴い強い緊張状態で運転する場合

ここでは、心拍応答から得られる他の指標との関連について分析し、心身状況について他の指標での評価の可能性について検討した。比較検討に用いた評価指標を表-3に示す。また、全被験者の走行中のLF/HFと他の3指標との関係を図-8に示す。

分析の結果、LF/HFはばらつきが大きく他の指標と明確な相関関係を見出すことはできなかった。これは、被験者属性や走行区間の区間特性、交通条件等の因子が影響していると考えられ、次項で定量的な分析を試みる。

表-3 評価指標の内容

指標	指標の意味
HR	<ul style="list-style-type: none"> 心拍数。交感神経は心拍数を増やし人間が活動するのに必要な身体の状態を作るように働き、副交感神経は心拍数を下げ、人間が休息するのに適切な身体状況を作る働きをする。 ⇒数値が大きいほど緊張度が大きい
LF	<ul style="list-style-type: none"> 心拍変動の低周波成分であり、交感神経の活性度を表す。ストレス状態になるとこの値が大きくなる。 ⇒数値が大きいほど緊張度が大きい
HF	<ul style="list-style-type: none"> 心拍変動の高周波成分であり、副交感神経の活性度を表す。リラックス状態にあるとこの値が大きくなる。 ⇒数値が大きいほど緊張度が小さい
LF/HF	<ul style="list-style-type: none"> 心拍変動の高周波成分(HF)と低周波成分(LF)の比(LF/HF)であり、ストレス状態にあると HF 成分に対して LF 成分が相対的に大きくなるのでこの値が大きくなる。 ⇒数値が大きいほど緊張度が大きい



(注)回帰式：各被験者の2秒毎の値を直線回帰

図-8 各評価指標と LF/HF との関係

2) 心身状況に影響する因子の分析

走行区間, 走行方向, 走行時間帯, 交通量, 走行中の速度, 被験者属性等と LF/HF の関係を分析した。

分析にあたって, LF/HF は走行中の 2 秒毎の計測値を用いた。

a) 走行区間, 走行方向と LF/HF の関係

走行区間, 走行方向として, 横浜区間の上下 2 区間(完成 3 車線), 豊田区間の上下 2 区間(暫定 3 車線), および豊田区間の上下 2 区間(完成 2 車線)の 6 区間に

分類して, 各区間について LF/HF の 95 パーセンタイル値, 平均値, 5 パーセンタイル値を分析した。走行区間, 走行方向別の LF/HF の頻度, 累加割合を図-9 に示す。

同図の累加割合をみると, 完成 3 車線の道路横断構成である横浜上り(3 車線)と横浜下り(3 車線)は 95 パーセンタイル値, 平均値, 5 パーセンタイル値ともに他の区間に比べて大きい。このことから暫定 3 車線の豊田区間の方が完成 3 車線の横浜区間よりストレスを感じているとは言えない。

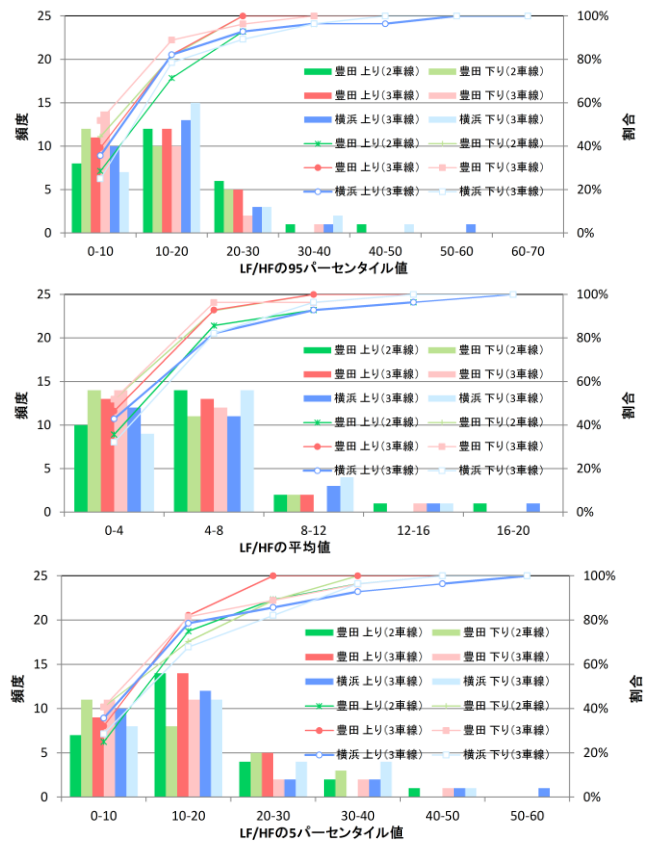


図-9 走行区間, 走行方向別の LF/HF の頻度, 累加割合

b) 走行時間帯と LF/HF の関係

走行時間帯として, 午前, 午後, 夜間について LF/HF との関係を分析した。実験では, 横浜区間と豊田区間で同じ時間帯に走行した被験者と異なる時間帯に走行した被験者がいた。分析にあたっては, 図-10 の注釈で示したように各被験者の横浜区間の走行時間帯と豊田区間の走行時間帯の組合せ a, b, c, d を設定し, 横浜区間と豊田区間の LF/HF に有意な差があるかどうかを被験者毎に t 検定を行った。横浜区間と豊田区間の比較ペア毎の t 値のばらつきを図-10 に示す。

この結果, 異なる時間帯に実験を行った被験者(午前-午後比較, 午前-夜間比較, 午後-夜間比較)は, 10 人中 9 人の t 値が 5%有意水準を上回っており, 走行した

時間帯に有意な差が見られた。しかし、同じ時間帯に実験を行った被験者（d の同時帯比較）の結果も異なる時間帯に実験を行った被験者と同程度の割合で有意な差が見られた。このことは、時間帯による影響よりも横浜区間と豊田区間という実験区間による影響が表れていることを示唆している。



(注)各◇印は1被験者の値
比較ペアの詳細は右のとおり

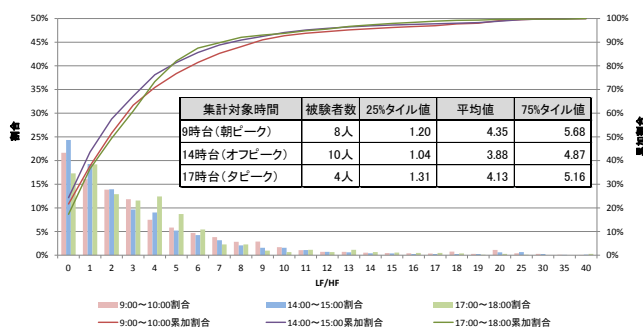
		豊田区間	
		午前	午後
横浜区間	午前	d	a
	午後	a	d
	夜間	b	c

図-10 横浜区間と豊田区間比較ペア毎の t 値のばらつき

c) 交通量と LF/HF の関係

交通量と LF/HF の関係について分析した。図-11 は、交通量の影響を把握するために実験期間中において、ピーク時とオフピーク時の交通量の差が比較的大きい豊田区間上りを対象にとり上げ、時間別の LF/HF の分布を示したものである。また、図-12 は、時間別の交通量の変化に LF/HF の分布を重ねて表現したものである。

この結果、交通量は朝ピーク時間帯（9 時台）が最も多く、夕ピーク時間帯（17 時台）、オフピーク時間帯（14 時台）と続くが、LF/HF についても統計的に有意差はないものの平均値では同様に変化する傾向がある。また、LF/HF のばらつきは交通量にあまり関係なく大きく変動している。これは、交通量が多くなると交通密度も次第に増加することになり周辺車両の影響により運転時のストレスが増すことを示唆している。



(注)朝ピーク(9時台)、オフピーク(14時台)、夕ピーク(17時台)に走行した被験者の全データを集計

図-11 時間別の LF/HF の頻度、累加割合

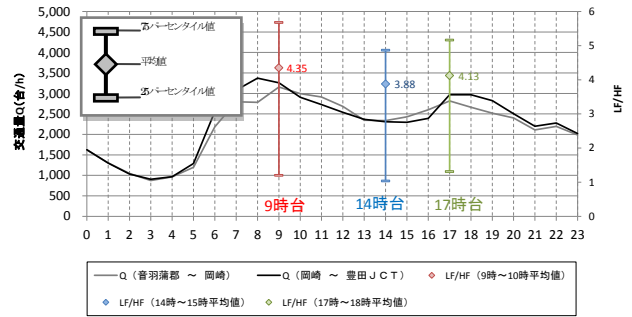


図-12 交通量と LF/HF の関係（豊田区間）

d) 走行中の速度と LF/HF の関係

走行速度の上昇に伴いドライバーは速度感により緊張感が増すことが考えられる。そこで、走行中の速度と LF/HF の関係を分析した。図-13 は任意の被験者の走行中の速度と LF/HF の関係を示したものである。

走行時間帯は交通量が 2500~3500 台/時でほぼ自由流であったことによるが、速度帯はほとんどの被験者で 70 km/h から 80 km/h の臨界速度付近であった。この速度域では、LF/HF の値とそのばらつきが大きくなっている。これは臨界状態時の周辺車両の影響によって、ドライバーが運転時にストレスを感じる場合が多くあるものと考えられる。また、50km/h 以下の渋滞に巻き込まれた速度帯でも LF/HF のばらつきが大きくなっている。一方、100 km/h 程度の高速度域では LF/HF が小さくなっておりストレスをあまり感じなくなっていることを示唆している。これは交通量の少ない高速度域では、周辺の車両から影響を受けずに自由に走行しているためと考えられる。

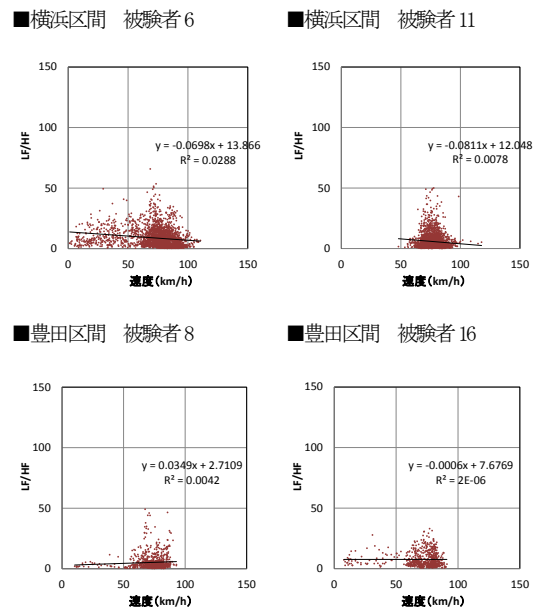


図-13 走行速度と LF/HF の関係

e) 被験者属性と LF/HF

最後に被験者属性として、年齢層、運転頻度、運転特性について LF/HF との関係进行分析した。ここで属性のカテゴリーは次のようにした。

- ① 年齢層：高齢者(60歳以上), 非高齢者
- ② 運転頻度：高速道路の運転頻度が、週1回以上, 月1回以上, 月1回以下
- ③ 運転特性：HQL 式スタイルチェックにより分類した慎重型, 中間型, 攻撃型

図-14, 図-15, 図-16 は上記の被験者属性毎の LF/HF の 95 パーセンタイル値, 平均値, 5 パーセンタイル値を示したものである。また, 表-4 は LF/HF の平均値を用いて三元配置の分散分析を行った結果を整理したものである。

表-4 三元配置の分散分析結果

因子	平方和	自由度	平均平方	F 値	P 値	判定
高齢者/非高齢者	1.1	1	1.1	0.13	0.72	有意なし
運転頻度	32.9	2	16.4	1.84	0.17	有意なし
運転特性	13.3	2	6.7	0.74	0.48	有意なし
高齢者/非高齢者 * 運転頻度	7.2	1	7.2	0.81	0.37	有意なし
高齢者/非高齢者 * 運転特性	35.1	2	17.6	1.96	0.15	有意なし
運転頻度*運転特性	4.6	3	1.5	0.17	0.92	有意なし
高齢者/非高齢者 * 走行頻度 * 運転特性	欠損グループが多く、判定不可					

分析の結果、年齢、運転頻度、運転特性ともに、LF/HF は、被験者毎に一定の傾向が見られるものの、分散分析の結果はいずれの因子及びその組合せについて P 値が 0.05 を下回るものはなく、属性毎の統計的に有意な差はみられなかった。

4 暫定3車線運用区間における心身活動の評価

(1) LH/HF によるストレス評価指標の妥当性確認

既往研究では、高速道路を走行するドライバーが非緊張から緊張の状態に移るときの目安として LF/HF=10 を、また強い緊張の状態に移るときの目安として LF/HF=30 を設定している。本研究では、実走行調査で得られた全被験者の LF/HF データとドライビングレコーダーで収集した映像データを用いてこの値の妥当性を検証した。

a) 非緊張と緊張の境界

図-17 は、横浜区間、豊田区間の全被験者全走行の 2 秒毎の LF/HF データを用いて走行中の LF/HF の頻度分布を示したものである。

この結果、LF/HF=10 は全体分布の概ね 90 パーセンタイル値に相当することがわかる。

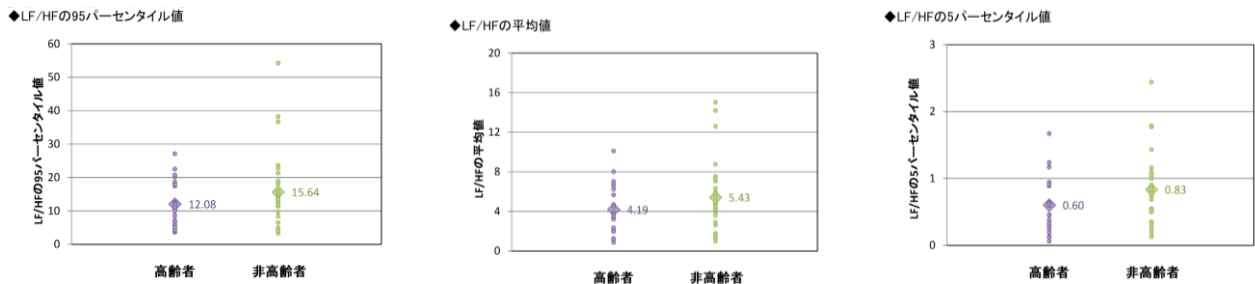


図-14 年齢層と LF/HF の関係

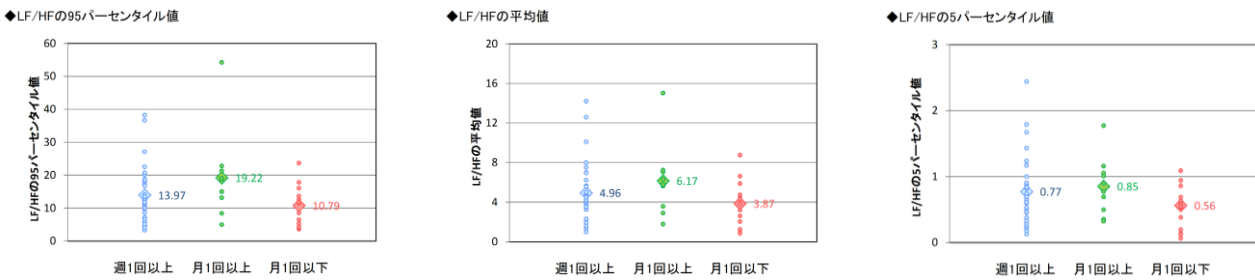


図-15 運転頻度と LF/HF の関係

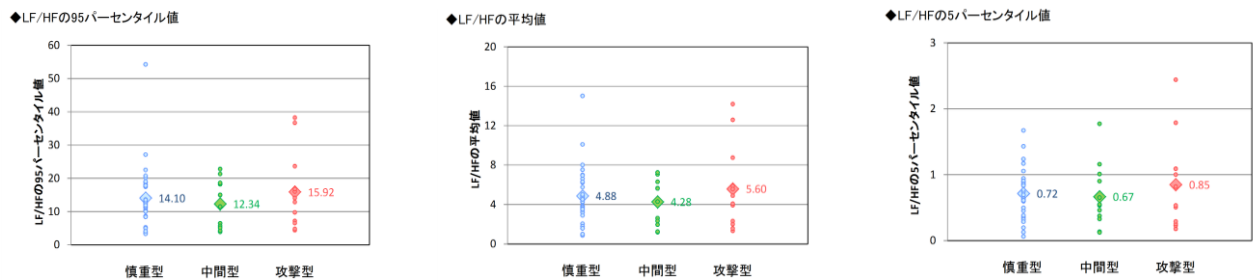


図-16 運転特性と LF/HF の関係

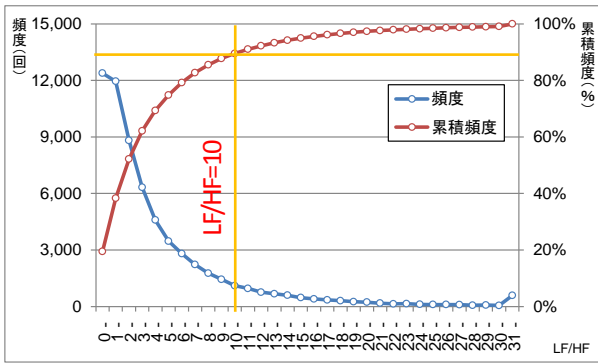


図-17 走行中の LF/HF の大きさの頻度分布

次にどのような走行挙動のときに LF/HF の値がたち上るのかを把握するため、被験者別、走行区間別に一連の走行の中で LF/HF=10 を超過する直前から 10 未満に低下するまでの箇所（時間）を抽出した。ただし、LF/HF が 10 未満になり、再び 10 以上となるまでの時間間隔が短い（30 秒未満）の場合は 1 事例とした。任意の被験者の走行中の LF/HF の変化を図-18 に示し、LF/HF が 10 を超えた時の

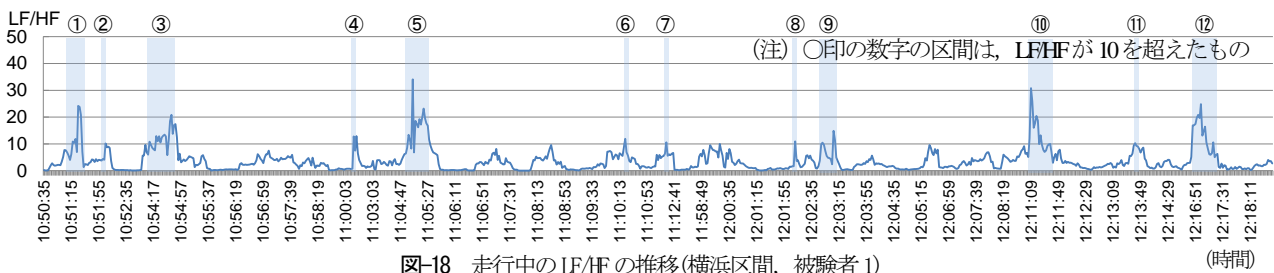


図-18 走行中の LF/HF の推移(横浜区間, 被験者 1)

①左側の大型車を追い抜く、右側の大型車に追い抜かれる



②左側の小型車を追い抜く



③右側から大型車を追い越す



④左側の大型車を追い抜く



⑤左側の大型車を追い抜く、右側の小型車に追い抜かれる



⑦左側の大型車を追い抜く



⑨右側から大型車を追い越す



⑩右側から大型車を追い越す



⑫右側から大型車を追い越す



⑥特異事象なし

⑧特異事象なし

⑪特異事象なし



(注) ○印の数字は図-18 の数字と対応する。

図-19 LF/HF が 10 以上に上がった時の走行挙動(横浜区間, 被験者 1)

映像をとり出したものを図-19 に示す。この結果、この被験者のストレスが高まった時の走行挙動は以下のように分類できた。

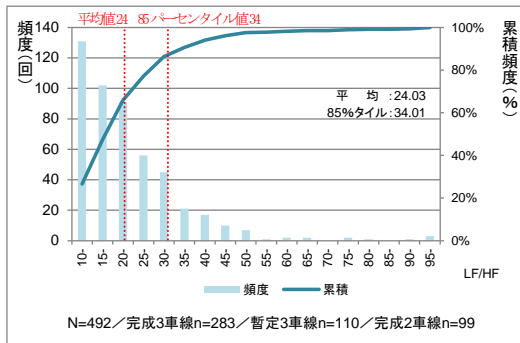
- 左側の大型車を追い抜くと同時に、右側の大型車に追い抜かれる (①)
- 左側の大型車を追い抜くと同時に、右側の小型車に追い抜かれる (⑤)
- 左側の大型車を追い抜く (④, ⑦)
- 左側の小型車を追い抜く (②)
- 右側から大型車を追い越す (③, ⑨, ⑩, ⑫)
- 特異な状況無し (⑥, ⑧, ⑪)

他の被験者についても追い抜きや追い越し等の周辺車両の影響を受けない走行状態では、LF/HF が 10 を超えることはなく、LF/HF=10 は非緊張と緊張の境界として妥当な値といえる。なお、周辺車両が存在しないときに LF/HF が上昇したのは、日照条件が大きく変化したとき（日影から日向に移ったとき）やジョイント通過時の振動に反応したとき等であった。

b) 緊張と強い緊張の境界

横浜区間と豊田区間の両方で、LF/HF が 10 を超えた事例について LF/HF の波形のピーク値（最大値）を求め、それらの「平均値」および「85 パーセンタイル値」を求めた。LF/HF のピーク値の分布を図-20 に示す。

この結果、「平均値」とした場合は LF/HF=24、「85 パーセンタイル値」とした場合は LF/HF=34 となった。これらの値は、前述した既往研究の東名高速道路大井松田 IC~御殿場 IC~沼津 IC 間の走行実験の際に設定した「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」の LF/HF の



(注) ドライブレコーダの映像から特異な状況が無いことが確認できた事例は除外した

図-20 緊張状態にある走行挙動の LF/HF ピーク値の頻度分布 (横浜区間+豊田区間)

境界値 30 とほぼ整合し、LF/HF=30 は強い緊張状態を判定するときの閾値として妥当な数値といえる。

(2) 運転行動の事例分析による緊張度の評価

表-5 は全被験者を対象として走行挙動別の発生頻度とそれらの挙動のうち LF/HF が 10 以上の緊張状態の発生頻度を道路横断構成別に整理したものである。

この表より最も緊張状態の発生頻度が高い走行挙動は、右側の大型車に追い抜かれる走行挙動であり、217 回/全区間であった。次いで左側の大型車を追い抜く走行挙動であり、100 回/全区間であった。また発生頻度が 10 回/全区間以上の走行挙動は、右側から大型車に追い越されるときや右側から大型車を追い越すときであり、大型車と並走する次の 6 つの走行挙動は緊張になりやすい状況と言える。

- ① 右側の大型車に追い抜かれる (No. 2)
- ② 右側から大型車に追い越される (No. 3)
- ③ 左側の大型車を追い抜く (No. 7)
- ④ 左側の大型車を追い抜くと同時に、右側の小型車に追い抜かれる (No. 12)
- ⑤ 左側の大型車に追い抜かれる (No. 14)
- ⑥ 右側から大型車を追い越す (No. 20)

表-5 全被験者における緊張状態にある走行挙動一覧

No.	危険事象	全事象数				緊張状態にある事象(LF/HF)>10			
		横浜区間 完成3車線	豊田区間 暫定3車線	豊田区間 完成2車線	豊田区間 完成2車線	横浜区間 完成3車線	豊田区間 暫定3車線	豊田区間 完成2車線	豊田区間 完成2車線
1	右側の大型車を追い抜く	47	50	15	4	2	0	8.5%	
2	右側の大型車に追い抜かれる	1,114	787	1,045	97	49	76	8.7%	
3	右側から大型車に追い越される	55	64	44	8	8	7	14.5%	
4	右側の小型車を追い抜く	57	22	20	0	0	0	0.0%	
5	右側の小型車に追い抜かれる	3,421	1,555	2,063	6	1	0	0.2%	
6	右側から小型車に追い越される	58	24	19	0	1	0	0.0%	
7	左側の大型車を追い抜く	921	342	16	74	23	3	8.0%	
8	左側の大型車を追い抜く、右側の大型車を追い抜く	4	8		0	0	0	0.0%	
9	左側の大型車を追い抜く、右側の大型車に追い抜かれる	40	34		6	2		15.0%	
10	左側の大型車を追い抜く、右側から大型車に追い抜かれる	12	4		1	0		8.3%	
11	左側の大型車を追い抜く、右側の小型車を追い抜く	4	0		0	0		0.0%	
12	左側の大型車を追い抜く、右側の小型車に追い抜かれる	199	94		8	4		4.0%	
13	左側の大型車を追い抜く、右側の小型車に追い越される	6	3		0	0		0.0%	
14	左側の大型車に追い抜かれる	57	38	5	7	2	1	12.3%	
15	左側の大型車に追い抜かれる、右側の大型車を追い抜く	1	3		0	0		0.0%	
16	左側の大型車に追い抜かれる、右側の大型車に追い抜かれる	10	9		1	0		10.0%	
17	左側の大型車に追い抜かれる、右側の小型車を追い抜く	1	0		0	0		0.0%	
18	左側の大型車に追い抜かれる、右側の小型車に追い抜かれる	23	13		0	0		0.0%	
19	左側の大型車に追い抜かれる、右側から小型車に追い越される	1	2		0	0		0.0%	
20	右側から大型車を追い越す	135	21	24	23	3	1	17.0%	
21	右側から大型車を追い越す、右側の大型車に追い抜かれる	4	1		1	0		25.0%	
22	右側から大型車を追い越す、右側から大型車に追い越される	1	0		0	0		0.0%	
23	右側から大型車を追い越す、右側の小型車を追い抜く	2	1		0	0		0.0%	
24	右側から大型車を追い越す、右側の小型車に追い抜かれる	25	2		1	0		4.0%	
25	左側から大型車に追い越される	9	9	0	1	0	1	11.1%	
26	左側から大型車に追い越される、右側の大型車に追い抜かれる	2	5		0	0		0.0%	
27	左側から大型車に追い越される、右側の小型車に追い抜かれる	4	2		0	0		0.0%	
28	左側の小型車を追い抜く	725	139	13	2	1	0	0.3%	
29	左側の小型車を追い抜く、右側の大型車を追い抜く	1	3		0	0		0.0%	
30	左側の小型車を追い抜く、右側の大型車に追い抜かれる	40	5		1	0		2.5%	
31	左側の小型車を追い抜く、右側から大型車に追い越される	6	3		0	0		0.0%	
32	左側の小型車を追い抜く、右側の小型車を追い抜く	3	0		0	0		0.0%	
33	左側の小型車を追い抜く、右側の小型車に追い抜かれる	205	31		2	0		1.0%	
34	左側の小型車を追い抜く、右側から小型車に追い越される	4	0		0	0		0.0%	
35	左側の小型車に追い抜かれる	117	47	3	0	0	0	0.0%	
36	左側の小型車に追い抜かれる、右側の大型車を追い抜く	2	1		0	0		0.0%	
37	左側の小型車に追い抜かれる、右側の大型車に追い抜かれる	4	10		0	0		0.0%	
38	左側の小型車に追い抜かれる、右側から大型車に追い越される	2	1		0	0		0.0%	
39	左側の小型車に追い抜かれる、右側の小型車に追い抜かれる	40	20		0	0		0.0%	
40	左側の小型車に追い抜かれる、右側から小型車に追い越される	0	1		0	0		0.0%	
41	右側から小型車を追い越す	81	6	9	5	0	0	6.2%	
42	右側から小型車を追い越す、右側の大型車に追い抜かれる	2	0		0	0		0.0%	
43	右側から小型車を追い越す、右側の小型車に追い抜かれる	21	1		0	0		0.0%	
44	左側から小型車に追い越される	19	2	0	0	0	0	0.0%	
45	左側から小型車に追い越される、右側の大型車を追い抜く	1	0		0	0		0.0%	
46	左側から小型車に追い越される、右側の大型車に追い抜かれる	4	1		2	0		50.0%	
47	左側から小型車に追い越される、右側の小型車に追い抜かれる	8	0		0	0		0.0%	
48	車線変更	249	39	75	4	3	2	1.6%	
49	前方大型車との車間が狭まる				0	0	1		
50	前方小型車との車間が狭まる				1	1	0		
51	路肩駐停車車両				4	0	0		
52	工事関係(工事車両・作業員・コーン等)				7	0	0		
53	路面の起伏(ジョイント、部分舗装等)				14	8	4		
54	その他				3	2	3		
55	特異状況無し				393	154	147		
	総計	7,747	3,403	3,351	676	264	246		

(注) 「55 特異状況無し」とは、標識やオーバブリッジを通過した箇所での LF/HF の上昇(道路横断構成に関連しない事象)

(3) 道路横断構成の違いによるストレスの評価

緊張を伴う走行挙動である「右側の大型車に追い抜かれる」、「右側から大型車に追い越される」、「左側の大型車を追い抜く」、「左側の大型車を追い抜くと同時に、右側の小型車に追い抜かれる」、「左側の大型車に追い抜かれる」、「右側から大型車を追い越す」についてその挙動が発生した時の LF/HF の値を用いて道路横断構成の違いによる心身活動への影響を評価した。

道路横断構成別に LF/HF が強い緊張状態を表す閾値 30 以上になる割合は、図-21 に示すように、横浜区間で 16%、豊田区間の暫定 3 車線で 15% となった。このように、完成 3 車線の値の割合が僅かに高くなっているが、それぞれの差はわずかであり、道路横断構成の違いが心身状況に与えるストレスの大きさは概ね同レベルと考えることができる。

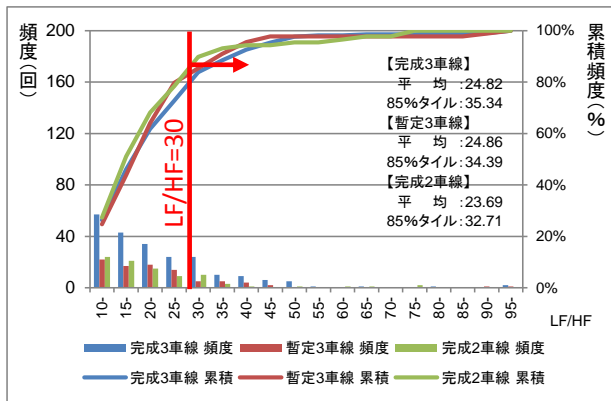


図-21 緊張状態にある走行挙動の LF/HF ピーク値の頻度分布

5. まとめと今後の課題

(1) まとめ

本研究では、過年度に実施した実車両を用いた走行実験のデータをもとに、ストレス変化に影響する因子の把握や運転行動の事例分析の実施による緊張度の評価基準の検討、道路横断構成の違いによる心身活動への影響の評価を実施した。

研究のまとめを以下に示す。

a) ストレス変化に影響する因子

ストレス評価指標と走行区間、走行方向、走行時間帯、交通量、走行速度、被験者属性等の心身状況データに影響を与える因子の関係について分析した。

分析の結果、走行速度とストレス指標の間には、臨界速度領域で比較的高い値を示す等の特徴が読み取れた。また、ストレス指標は、交通量が多くなると高い値をとる傾向が見られ、交通密度との相関があると考えられる。

一方、走行区間、走行方向、走行時間帯、被験者属性については、今回の実験データからはストレス評価指標と明確な関係はみられなかった。

b) 運転行動の事例分析による緊張度の評価

LF/HF の心身状況データを用いて、緊張度が増す箇所の生体反応と走行状況の関連性を分析した。

分析の結果「右側の大型車に追い抜かれる」、「右側から大型車に追い越される」、「左側の大型車を追い抜く」、「左側の大型車を追い抜くと同時に、右側の小型車に追い抜かれる」、「左側の大型車に追い抜かれる」、「右側から大型車を追い越す」といった特に大型車と併走する状況において、左右に走行する大型車両の影響を受けてストレスが上がる事例が多いことが明らかになった。

c) 道路横断構成の違いによる心身活動への影響評価

b) で抽出した 6 つの走行挙動において各走行挙動別の LF/HF の値を用いて緊張して運転をするときの LF/HF の基準値を設定し、完成 3 車線と暫定 3 車線の道路横断構成について、基準値以上に LF/HF が出現する割合をみると、横浜区間の完成 3 車線、豊田区間の暫定 3 車線で大きな違いはなく道路横断構成が心身状況に与えるストレスは同等と考えることができる。

(2) 今後の課題

本研究では、道路横断構成の違いとして車線や路肩の幅員の狭小化が運転者へ与えるストレスについて分析し、道路横断構成の違いによる心身諸活動への影響は横浜区間の完成 3 車線、豊田区間の暫定 3 車線で概ね同等であるとの結論を得た。しかしながら、本研究では単路部のみを分析対象としていたが、LF/HF は、インターチェンジの合流部やトンネル等の特殊な構造箇所においても比較的高い値を示していた。今後は、ストレス評価指標が上昇する場所や走行状況をさらに詳細に把握し、道路付属施設や交通運用上での改善を検討することが望ましい。

また、本研究で実施した走行実験では第 1 走行車線と第 2 走行車線を走行していたため、大半のデータが第 1 走行車線と第 2 走行車線の走行時のみのデータとなっている。今回の分析結果より、追い越し時あるいは追い抜き時に LF/HF が高い値を観測したことから、追越車線を走行する際にさらに高いストレスを感じている可能性がある。今後は追越車線の心身状況データを取得し、比較分析を行うことが望ましいと考えられる。

なお、横浜区間の LF/HF が豊田区間と比較して高い値を観測していた。この原因として横浜区間の方が豊田区間よりも交通量が若干多いことやピーク時間特性等の交通特性、実験環境の違いも一因と考えられる。そこで、横浜区間が比較区間として標準的かを確認するために他の完成 3 車線区間でも同様の実車走行実験を行い、心身状況に関するデータを蓄積することが望ましいと考えられる。

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) 邢健, 平井章一, 村重至康, 辻光弘, 後藤秀典, 梅田祥吾: 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, 第 50 回土木計画学研究発表会・講演集, 2014
- 5) 山田満, 栗原毅: 刺激/反応系としてとらえたイベント効果に関する一考察—人体センサーによる実証実験—, イベント学会発表論文集, 2008
- 6) 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
- 7) 高橋秀喜, 邢健, 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.

(2015. 7. 31 受付)

Evaluation of driver's physiological functions in motorway temporary 3-lane operation sections

Jian XING, Shoichi HIRAI, Yoshiyasu MURASHIGE, Mitsuhiro TSUJI,
Hidenori GOTO, Shoji OCHIKA, and Daisuke YAMAGUCHI