

# 付加車線のある往復二車線道路区間の走行時心的負担感の評価\*

## An analysis of driver's mental work load at 2 lanes road section with additional lane\*

清水哲夫\*\*・平松郁己\*\*\*

By Tetsuo SHIMIZU\*\*・Ikumi HIRAMATSU\*\*\*

### 1. はじめに

地方部の都市間を結ぶ道路交通サービスにおいては、高速走行が可能な高規格道路の建設が社会的に難しい局面を迎えている。

これはもちろん費用対効果を発揮できるほどの需要が期待できないことによるが、リダンダンシーの観点からは、財政状況を勘案しながら長期的には整備を進めていくことが望ましい。この場合、非常に長期にわたって、都市間道路における高速サービスはあきらめざるを得ない。そこで、現在ある一般道路区間を高速サービスが可能なシステムへと転換していくニーズは高まってくと予想している。

さて、このような道路区間では、多くの場合は片側1車線で運用可能な需要量であることが常である。中でも、需要が非常に小さければ、追い越し可の運用形態を取っている可能性が高い。この状態で走行の高速化を認めれば、車線逸脱による正面衝突事故の危険性が極めて高くなる。この場合、中央分離帯を設定するような対策が必要不可欠となり、必然的に追越禁止の運用を余儀なくされる。

このような道路区間では、都市間の物流交通から通勤交通、生活交通、あるいは観光交通といった様々な目的の交通が混在する可能性は高く、速度差が大きい運用状態を強いられる。即ち、遅い車両への追従走行を長時間示強いられる確率が高くなってしまう。追従車群中のドライバーが長時間の追従走行によりイライラ感が募り、走行が不安定になりやがて事故を引き起こす可能性も否定できず、逆に車群の先頭のドライバーは後方からのプレッシャーに耐えて走行することを強いられ、同様に走行が不安になることが想像される。

この時、避譲車線もしくは追越車線を付加して、このような車群を適度にばらすことが不可欠となる。ポイ

ントは、このような付加車線の設置間隔と設置長をいかに決定するかということにある。もちろん、高頻度かつ長い付加車線の設置は、費用対効果面から言って受け入れることはできないし、あまりに低頻度で短い場合には車群を適切にばらすことはできない。また、付加車線走行時にも各種の挙動変化が生じることによるストレスの増加も懸念されるところである。

本研究では、ドライバーの追従走行時と付加車線走行時における上記の各種心的負担感に焦点を絞り、これを増加させないための付加車線の設置間隔と設置長の基本的な考え方を提示する。始めに、このような心的負担感をドライバーの生理データから定量化することが可能かどうかを確認し、次に、その知見と簡単な交通シミュレーションから設置間隔と設置長について検討する。

### 2. 走行実験の実施

#### (1) 走行実験の対象道路区間

本研究では、北海道にある国道38号および国道40号を分析対象とした。国道38号は、大楽毛～直別の約40kmであり、複数の避譲車線と登坂車線を含んでいる区間である。昼間12時間交通量は6,500台程度である。国道40号は、稚内～開源の約20kmであり、1箇所を除き全て片側1車線区間である。昼間12時間交通量は3,000台強である。

#### (2) 走行実験の概要

これら2つの道路区間において、平成17年8月に被験者による走行実験を実施した。

各区間15名の被験者が、レンタカーで対象区間を1往復(40～60分程度)走行した。レンタカーにGPS機器、車速パルス測定器を搭載して1Hzの時刻-速度-位置データを捕捉する一方、複数のビデオカメラで、前方・後方を中心とする周辺環境、アクセルワークを記録した。運転時の心的負担感の定量的把握方法については、岩倉<sup>1)</sup>がその得失を整理しており、現状では心拍による方法の操作性が高いと判断される。心拍データの取得のために、被験者には心電計を(株)GMS製のAC-301アクティブトレサーを装着してもらい、リアルタイムのRR間隔(mse

\*キーワード: ヒューマンファクター

\*\*正員, 博(工), 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻助教授(東京都文京区本郷 7-3-1, Tel: 03-5841-6128, e-mail: sim@civil.tu-tokyo.ac.jp)

\*\*\*\*非会員, 日本生命保険相互会社

c)データを取得した。また、レンタカーに記録員が同乗し、ドライバーが走行実験中に感じた道路構造や運用への不満をヒアリングして、その内容と時刻を記録してもらった。

### (3) 追従データの加工

この走行実験では、前方の走行環境を録画したビデオデータから追従状態の有無を判定する必要がある。この方法では詳細な追従の定義からデータ処理することが難しく、車頭時間3秒未満を機械的に追従状態として、データコーディングを行った。国道38号および国道40号の平均走行速度からそれぞれ車頭時間3秒に相当する距離を算出し、車内へのビデオ設置時に距離別に前方車両を撮影しておき、これらをテンプレートとして簡易に距離判定を行った。

### (4) 心拍データの加工方法

被験者に装着した心電計は連続したRR間隔データが取得可能である。RR間隔の変動で運転の神経的な緊張（イライラ感や不安感）を表現することは可能であり、刺激と変化のタイムラグも比較的少ないとの研究事例<sup>2)</sup>がある。

また、運転のような作業負荷を評価する際に、RR間隔の変動をある一定時間でスペクトル解析により周波数成分に分解し、高周波領域(0.15~0.5Hz)であるHF成分と低周波領域(0.05~0.15Hz)であるLF成分を求めて、これらを負荷の指標とする方法が一般的である<sup>3)</sup>。心理的ストレスを受けた状態ではHF成分が減少することがよく知られている。また、両者の比であるLF/HFについてもストレスにより増加することも確認されている。ただし、これらの指標では、短時間での負荷に伴う緊張感を効果的に捕捉することは難しい。そのため、大橋ら<sup>4)</sup>や清水ら<sup>5)</sup>のように、合流部等の局所的な心的負担感をRR間隔で評価する試みもある。

以上を踏まえ、本研究では、ある地点（時刻）でのRR間隔と、前後15秒間のRR間隔変動をスペクトル解析して得られたHFとLFを計算して、心的負担感の説明指標と考えた。

## 3. 心的負担感の分析結果とその考察

### (1) 付加車線走行が心的負担感に及ぼす影響

1つだけ付加車線が設置されている国道40号の14名の被験者のRR間隔データ（1名は取得失敗）を用いて、付加車線の有無によるRR間隔の相違を確認した。図-1にその結果を示す。12名の被験者では1%有意でRR間隔の平均値が低下しており、付加車線区間では運転時の心的負担感が増加している可能性が高い。図表は割愛するが、

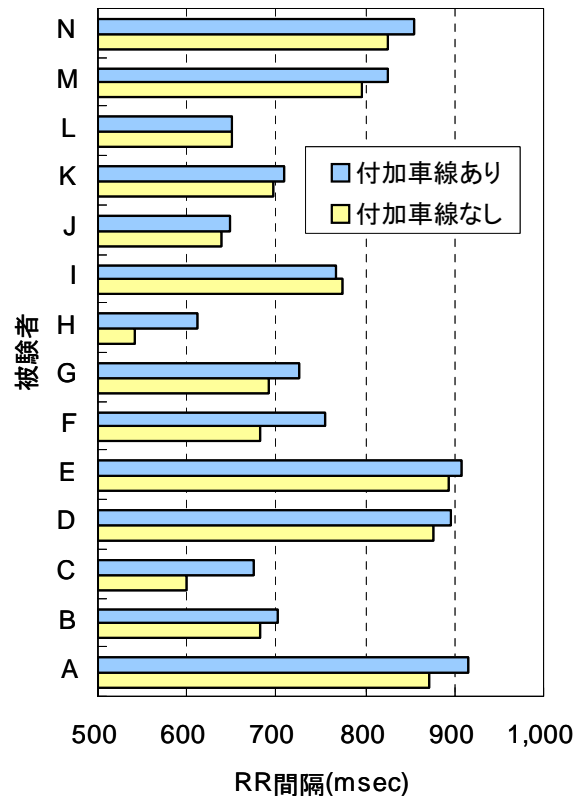


図-1 付加車線有無とRR間隔平均値の関係

付加車線走行時のRR間隔変化を詳細に分析してみると、追い越しを行うために速度を上昇させるといった緊張を要する運転により、RR間隔が付加車線の終端部に向かって徐々に上昇していくケースも確認された。これらの結果から判断すれば、付加車線長の設定は、追従の解消という交通工学的側面だけでなく、負担感とのバランスで考えておくべきであろう。

### (2) 追い越し・被追い越し時の心的負担感の変化

追い越しをしたりされたりした場合に、その前後30秒~1分のRR間隔の変化を比較した。全被験者では、追い越し時に8割程度のケースで追い越しの過程でRR間隔が減少していくことが確認されている。逆に、追い越された時には、2割程度でRR間隔が減少していた。図-2は、追い越しを行った被験者のRR間隔変動のグラフである。ハッチ部で追い越しを行っていて、その過程でRR間隔が徐々に減少し、追い越しを終了した後はRR間隔が再び上昇して安定する様子が伺える。即ち、多くの被験者で追い越し時にやはり心的負担感を感じていると判断できる。

### (3) 追従走行時の心的負担感についての分析

付加車線走行や追い越し挙動といった、短期的な挙動が心的負担感に与える影響については、前項まででRR間隔を用いて分析してきた。一方、追従走行のよう

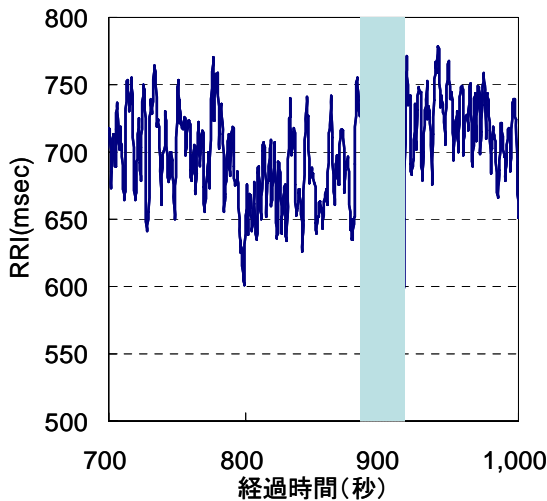


図-2 追い越し前後のRR間隔の変動の例

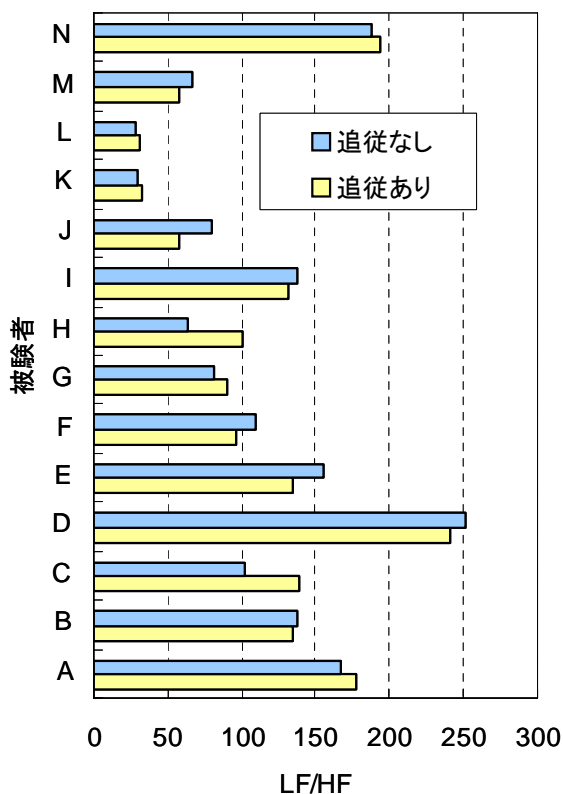


図-3 追従の有無によるLF/HFの関係

にある一定時間継続する挙動については、RR間隔よりは既に述べたHFやLF/HFのような指標を用いる方が望ましいと考えられる。HFについては本研究では有意な分析ができなかったため、以下では、LF/HFのみの結果を紹介する。

図-3は、各被験者について追従（定義は先述の通り）している局面を「追従あり」、そうでない局面を「追従なし」に分類し、それぞれの局面でのLF/HFの平均値を比較したものである。LF/HFが大きい方の負担感が大き

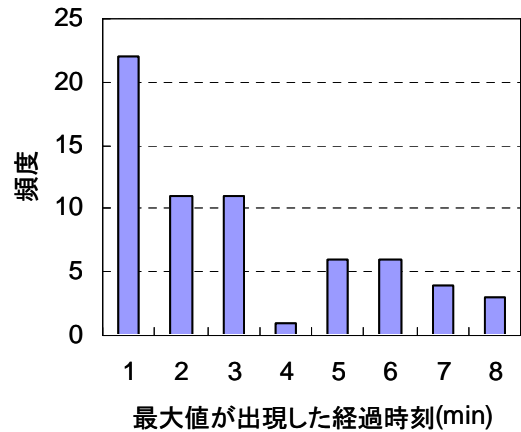


図-4 LF/HFの最大値が出現した追従経過時刻

いが、少数の被験者は追従によりLF/HFが飛躍的に上昇するものの、その他の被験者ではむしろ追従なしの方の値が大きい結果となっている。分散分析でも追従の有無がLF/HFに影響しない結果となっている。

そこで、今度は追従継続時間に注目した。全被験者による全追従について、追従開始から最大のLF/HFが出現した時刻を集計した。図-4にその結果を示す。実際には追従が短時間で終了した場合も含まれているため、3分以内の頻度が高くなっているが、注目したいのは5分以上継続する追従では後半にLF/HFの最大値を与えるケースが多く見られることである。追従開始時には、「遅い車に引っかかってしまった」というあきらめの感情を持つが、その状態が継続することにより「いつまでこの状態が続くのだ」というイライラ感へと変化していき、心的負担感が増加すると想像することも可能である。

以上、少数の被験者による分析であるが、5分程度の追従を強いる可能性の低い付加車線の設置間隔が、心的負担感の軽減の観点からは望ましいという示唆を得た。

#### 4. シミュレーションによる付加車線の設置要件の検討

##### (1) 付加車線の設置間隔の試算

実験対象とした国道40号で付加車線の設置間隔を試算してみる。車両の発生時間間隔分布と速度分布を与えた簡単なシミュレーションを実行する。

発生時間間隔については、国道40号の12時間交通量である3,220台から1分平均到着台数を求め、それを指数分布のパラメータとして確率的に設定した。速度分布については、感知器で観測されている走行速度分布を用いて、やはり確率的に発生した車両の速度を与えた。走行速度は発生時速度から変わらないものとする。連続した発生車両について、前方の速度が後方のそれよりも小さければそのうち追いつき追従状態となる。

シミュレーションでは車両を1,000台連続で発生させ、

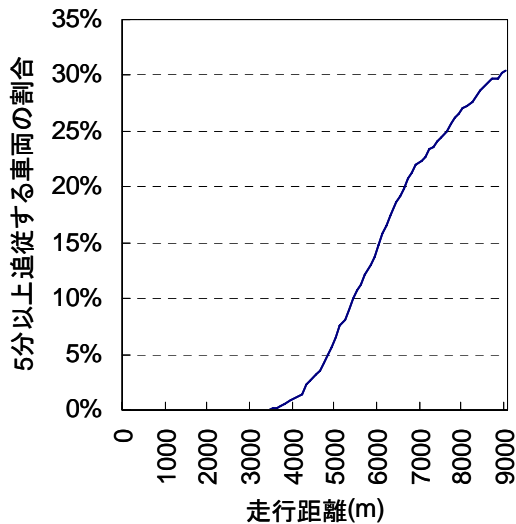


図-5 走行距離別の追従車両割合

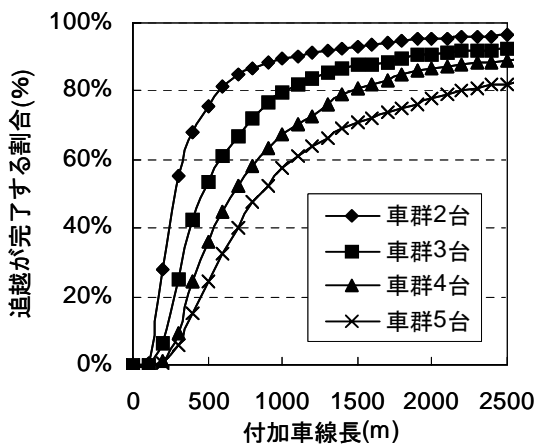


図-6 付加車線長別の追越完了率

車頭間隔が60mとなったら追従状態になったと定義し、その後は車群先頭車の速度で走行させた。

前章の結果のように、概ね5分程度の追従状態が継続しないように設置間隔を決定するような考え方を取った場合に、シミュレーションで走行距離毎に5分以上追従走行を強いられる車両がどの程度存在するかを算出すればよい。図-5にその結果を示す。もし付加車線間隔が5,000mであれば、6%程度の車両が5分以上の追従となってしまうという読み方が可能である。逆に30%の車両が5分以上の追従となっても良いという判断をすれば、9,000mの付加車線間隔で十分であるという結果となる。

## (2) 付加車線長の試算

次に、国道38号線で観測した付加車線における車線別速度分布を用いて、車群を追い越すのに必要な走行距

離をシミュレーションで試算した。その結果を図-6に示す。車群台数に応じて、その最後方の車両が先頭の車両を追い越すまでに必要な走行距離を付加車線長とみなしている。1,000m程度の長さがあれば、80%程度の車両が追い越し可能であることが見て取れる。逆に長い付加車線長を設定しても追い越し完了率が飛躍的に向上せず、前章の分析のように心的負担感を増加させてしまうデメリットもある。

## 5. おわりに

本研究では、ドライバーの追従走行時と付加車線走行時における心的負担感の観点から、付加車線の設置間隔と設置長の基本的な考え方を示した。

主要な成果は、①付加車線走行時に心的負担感が存在すること、②追従が5分以上継続すると心的負担感が増大傾向となること、である。これらの成果を簡易な交通シミュレーションに反映して、付加車線の設置要件（間隔と長さ）を試算してみた。

もちろん、本研究で対象とした2つの道路区間は積雪寒冷地であり、冬季では全く異なる議論が要求される。設置要件についても、もちろん心的負担感だけで決定される訳ではなく、費用対効果とのバランスで考えるべきである。また、豊富な被験者属性による実験で、本研究の成果を再度検証する必要があることは言うまでもない。

謝辞：本研究は（社）土木学会実践的ITS研究特別委員会および北海道開発局の協力を受けて実施した。記して謝意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) 岩倉成志：交通を測る新技術 ヒト、モノ、環境 第3回 生体反応の測定法—高速移動のストレスを測る—、交通工学、Vol.39, No.1, pp.67-71, 2004.
- 2) 景山一郎、栗谷川幸代：心負担推定のための心拍変動のモデル化について、自動車研究、Vol.19, No.11, pp.437-443, 1997.
- 3) 大塚邦明：時間医学とヤヌス医学、メディカルレビュー社 1998.
- 4) 大橋正樹、内田智也、屋井鉄雄：高速道路走行における心理的負担の計測と安全性評価に関する研究、第35回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.541-546, 2000.
- 5) 清水哲夫、飯島雄一、屋井鉄雄：高速道路合流部における走行支援情報提供に関する一考察、土木計画学研究・論文集、Vol. 19, No.4, pp.839-846, 2002.