

ドライビングシミュレータを用いたサービス水準評価のための追従挙動の動的計測実験

林 正也¹・葛西 誠²・寺部 慎太郎³

¹学生非会員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工専攻 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)
E-mail:j7610632@ed.tus.ac.jp

²正会員 東京理科大学助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)
E-mail:kasai@rs.noda.tus.ac.jp

³正会員 東京理科大学准教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)
E-mail:terabe@rs.noda.tus.ac.jp

高速道路におけるトラフィック機能のサービス水準は、追従状態における運転者の走行環境に対する動的な評価に基づくべきである。運転者の評価の構造を知る方法として、本論文では実験環境を制御可能なドライビングシミュレータ(DS)を用い、先行車挙動を所与とし追従走行させ、生体反応の一種である心拍間隔指標を取得し、生体反応と車間距離、速度等の物理量との対応付けが可能か否かを実験的に検証する。統計的な検証の結果、心拍間隔と自車走行速度との間に相関がみられ、今後のサービス水準評価法の開発において、DSを用いた生体反応の動的な計測実験が有用であり、実験条件設定および解析方法の精査が必要であることを言及する。

Key Words :level of service, dynamical measurement, carfollowing behavior, R-R interval, driving simulator

1. はじめに

道路の機能の本質的なものはトラフィック機能であり、目的地により速く、より安全に、そしてより快適に目的地へ到達するという運転者のニーズを実現することにある。したがってサービス水準を如何に計測すべきか、さらには個々の道路のサービス水準はどのように設定すべきかについては「道路」という製品の性能を計画・設計する上で必要不可欠とされている¹⁾²⁾。特に、高速道路においては高度にトラフィック機能を発揮できるよう担保することが必要であり、サービス水準はトラフィック機能の性能を評価できるものでなければならない。

高速道路上の走行においては、渋滞流中のみならず自由流中においても追従走行を強いられる局面が多く、追従挙動時のサービス水準評価が重要である。追従時のサービス水準指標としては、ドライバーの認知するサービス水準に立脚した変量が望ましく、ストレスが適当とされている。ストレスを計測するための方法としては、観測された行動(顕在選好)からストレスを間接的に計測する方法が提案されている。しかしながら、運転者ストレスを生体反応によって直接計測する例³⁾も近年増加し

ており、より運転者の認知に近いサービス水準評価が生体反応と追従挙動との関連付けによって可能になるのではと期待される。

一方で、生体反応データと運転挙動データとの対応付けにあたって、実路でのデータ取得では、実験環境の統一ができないことによる解析上の困難が予想される。運転者が直面する周囲の交通環境を統一することが可能なのはドライビングシミュレータであり、これを用いてストレスを直接計測し、物理的に計測可能な変量との関係性の検証を目的とする。

2. 運転者ストレス実験

(1) 車両挙動データ

実験には本田技研㈱のDSを用いる。前述のとおり、DSでは走行環境の統一ができるだけでなく、実験データの取得が簡易であることや、実路実験における事故の危険性が生じないということなどから利用する。

(2) 心拍計によるストレス計測

運転者ストレスの計測器具としてメモリー心拍計を用いる。そこから心拍間隔（以下 RRI ; R-R Interval[mSec]）をデータとして扱う。身体的・精神的負荷により自律神経である交感神経活動が活発になると、ストレスに応答して心拍数は増加する。RRI は、単位時間当たりの心拍数の逆数となるため、ストレス状態では RRI が短くなることになる。なお、RRI はダイナミックに値が変化するため、本研究に最適であると考えられる。

心拍計の装着や、初めての DS 運転にはストレスを感じる恐れがあるため試験走行を行ない、被験者には運転に集中できるよう注意している。

(3) 追従環境の設定

追従時のストレスに着目するため、走行環境における他のストレスを排除できるよう高速道路短路をコースとして選定する。また、先行車は一定速度で走行し、一度減速し、また一定速度で走行するという単純な先行車挙動を2通り設定し実験する。このような単純な挙動であるならば、自車（追従車）はダイレクトに捉えることができると考えるためである。さらに、被験者には減速位置、減速幅によって複数回走行してもらう（図-1）。サグ部における先行車の加減速であり、被験者には挙動が予測できないようにすることを狙っている。

(4) データ加工

DSデータは心拍計との時間の同期を取り、時間軸を統一する。RRIは低いほどストレスとなり、考察のしにくい変数である。そこで、代わりにRRIの逆数をストレスの代替指標として用い、心拍速度と名付ける。つまり心拍速度は数値が高いほど拍動が速く、ストレスを感じていることになる。心拍速度は振動の激しい変数であるため、移動平均を取っている。また、DSデータ、心拍速度は0.1秒間隔に補間して分析を行なっている。

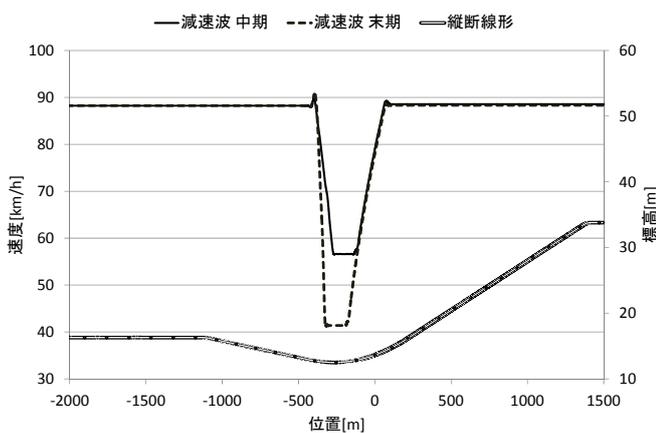


図-1 先行車の設定

(5) 変数の時系列変化

実験で得たデータを図-2に示す。DS、心拍計双方では、このようなダイナミックな図を描くことができることが特徴として挙げられる。図-2より速度や車間距離が一時的に高くなるときには心拍速度が比較的高い傾向が見られる。また、先行車の速度変化に対応させ、自車の速度を変化させていることを捉えることができる。

(6) 相関分析

(5)より、ストレスと物理量の間には相関があるように見える。したがって、相関行列を示す。

表-1より、心拍速度と物理量の間にはそれぞれ何らかの相関があるようにも見える。例えば心拍速度と速度の相関係数に着目すると、正の相関が見られ関係性が高いといえる。しかしながら、心拍速度と車間距離の場合には負の相関が見られる。これは車間距離が大きいと心拍速度とが高い、つまりストレスを感じるということになる。ストレスを感じることで車間距離を確保するといったことも考えるため時間遅れを考慮する必要があると考える。

物理量の変化（ここでは、速度や車間距離など）によりストレスを感じるが、そこには時間誤差があり、およそ2秒と仮定し分析する。

表-2より、時間遅れを考慮した場合において、相関係数が高くなったものもあれば、低くなるものもある。したがって、実際には車間距離が小さくなったことをストレスに感じるか、ストレスを感じて車間距離を大きくするかは不明瞭である。

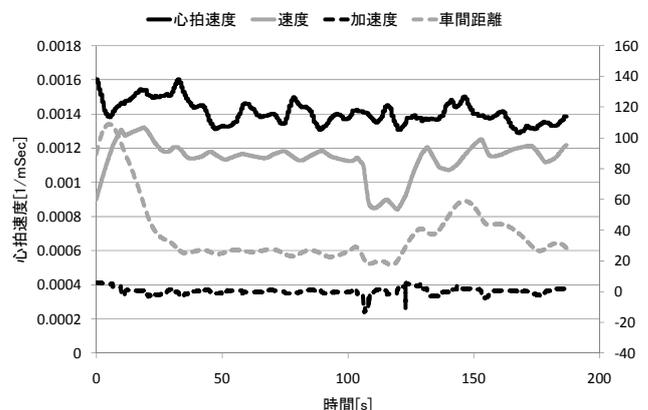


図-2 ストレスと物理量の時々刻々の変化

表-1 相関行列

	心拍速度	速度	加速度	車間距離
心拍速度	1.000			
速度	0.310	1.000		
加速度	-0.182	-0.067	1.000	
車間距離	0.219	0.429	0.145	1.000

表-2 時間遅れを考慮した相関行列

	心拍2秒遅れ	速度	加速度	車間距離
心拍2秒遅れ	1.000			
速度	0.322	1.000		
加速度	-0.088	-0.068	1.000	
車間距離	0.294	0.484	0.158	1.000

以上より、心拍速度と、物理的に計測可能な量、例えば速度や車間距離等との相関は決して低いわけではなく、何らかの関係を示唆するものではある。しかしながら、被験者毎、あるいは先行車減速シナリオ毎に相関係数の大きさが異なっていたり、符号が異なっている場合もある。したがって、この結果からは生体反応を物理的諸量で一般的に表現することは困難であると言わざるを得ない。

この理由としては様々なことが考えられるが、1つには、いずれの先行車データも減速および加速が一回のみであり、単調であったことが原因であった可能性がある。実路における先行車の挙動はより不規則であると言ってよく、この意味で、先行車データの設定に工夫の余地がある。

3. 運転者ストレス実験

(1) 追従環境の設定

前述のとおり、第2章では先行車挙動は1回の減速・回復のみであったが、実道路では先行車は速度を頻繁に変化させながら走行している。したがって、速度が比較的ランダムに変化するように、先行車の挙動を定める。速度プロファイルは図-3のようである。

この先行車に対する追従実験は時間の都合上、1被験者に対して1回試験するに留まっているが、興味深い結果であるので以下に示す。

なお、DSからのデータ取得法、心拍間隔の計測法、両データの同期法等、データ処理方法は全て第2章と同一である。

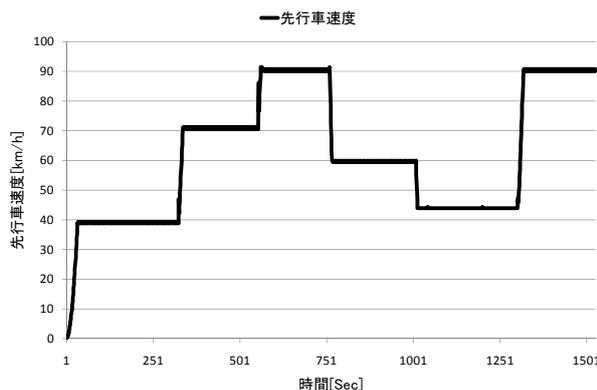


図-3 先行車速度

(2) 変量の時系列変化

時間に対する速度、車間距離、心拍速度を図示すると、図-4のようになる。このことから、速度と車間距離は比較的同じような変動を示していることがわかる。

(3) 相関分析

このように、視覚的に確認できる傾向を統計的に検証するため、第2章と同様に相関行列を示す(表-3)。この結果、心拍速度は速度と比較的強い負の相関があることが確認される。また、車間距離とも弱いながら負の相関があることがわかる。

第2章での結果(表-1~表-2)と比較すると、心拍速度に対する物理量はより強い相関をもつように見受けられるため、心拍速度を被説明とし、物理量を説明変数とする重回帰モデルが構築できるものと想定される。

(4) 重回帰分析

心拍速度を目的変数、速度、加速度、車間距離を説明変数とする重回帰分析を行うと、詳細は割愛するが、車間距離の偏回帰係数が正となり、表-3に示す心拍速度と車間距離の相関係数が負であることと矛盾する。表-3の速度と車間距離の相関係数が約0.8であることから多重共線性が生じていることが疑われる。したがって、車間距離を省略し、説明変数として速度、加速度を採用し重回帰分析を再び実行すると表-4に示す結果を得る。

t値からは、速度および加速度は有意な説明変数であることがわかる。偏回帰係数の符号からは、次のことが

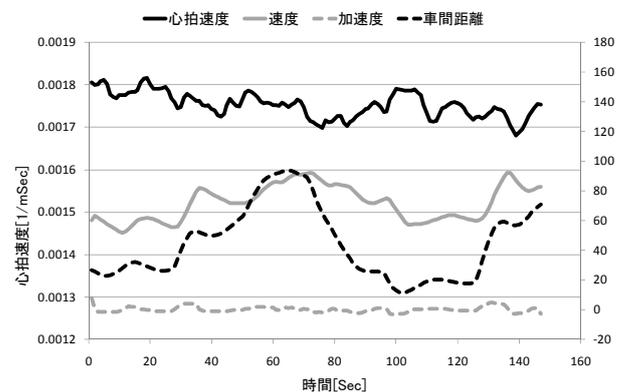


図-4 図-3に対応したストレスと物理量の時系列変化

表-3 相関行列(速度ランダム時)

	心拍速度	速度	加速度	車間距離
心拍速度	1.000			
速度	-0.550	1.000		
加速度	0.095	-0.013	1.000	
車間距離	-0.260	0.795	0.230	1.000

表4 重回帰分析

変数名	偏回帰係数	t値	判定
速度	-1.40×10^{-6}	-25.31	**
加速度	1.43×10^{-6}	4.062	
サンプル数:1468 重相関係数:0.557			
決定係数:31% 定数項: 1.85×10^{-3}			
** : 1%有意			

読み取れる：1)速度が高いほど心拍速度は低くなる，すなわち，心理的に負荷のかかる状態は高速走行時ではなく低速走行時であることを意味し，高速走行時ほど緊張を強いられるという直観とは相反する結果ともいえる．これはおそらく，高速道路においては運転者の希望走行速度が高く，低速走行では先行車に押さえられて自由に走行できないことがストレスとなっているものと推察される．2)また加速度が大きいほど心拍速度は上昇する．これは，速度や車間距離と異なり運転者が運転操作するものであるためと考える．希望走行速度に達したいがために運転操作することがストレスとなっていることが考えられる．

4. おわりに

本研究では，運転者のストレスは走行環境と関係があるとの仮定の下，運転者が最もストレスを感じると想定される追従挙動を対象とし，ドライビングシミュレータを用い，先行車データを仮想的に設定し，追従挙動データと心拍間隔指標との対応付けを試みた．1)単調な先行車挙動を設定した場合，2)先行車速度を比較的ランダム

に変化させた環境の双方で，両者の対応付けを統計的に行った．

本研究の結果からは，運転者のストレスと走行環境の物理量には何らかの関係があることが示唆されており，特に，実路走行により近い，速度をランダムに変化させた環境においては，自転車速度と心拍間隔指標とにやや相関の高い分析結果を得た．

ただし本研究はパイロットスタディとしての位置付けであり，まだ実験条件の設定に工夫の余地があること，解析方法にも余地があることは事実である．だが一方で，生体反応である心拍間隔指標を追従走行時のサービス水準指標として用いることの可能性は十分であると述べる事が可能であると言える．

参考文献

- 1) 喜多秀行，前田信幸：道路交通における走行サービスの質とその計測：効用アプローチに基づく方法，土木学会論文集，No.772/IV-65，pp.3-10，2004．
- 2) 中村英樹，鈴木弘司，劉俊晟：ドライバーストレスの観測計測に基づく高速道路単路部におけるサービス水準の評価，土木学会論文集，No.772/IV-65，pp.11-21，2004．
- 3) 上田誠，近藤光男，早川晴雄，中田隆現：追従走行実験における心理的・生理的反応に基づく運転疲労の定量化に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.22，No.4，pp.805-813，2005．

(? 受付)

DYNAMICAL MEASUREMENT OF HEARTBEAT INTERVAL IN CAR-FOLLOWING BEHAVIOR FOR ESTIMATION OF LEVEL OF SERVICE USING DRIVING SIMULATOR

Masaya HAYASHI, Makoto KASAI, Shintaro TERABE