

ドライバの生体脈波による高速道路走行時のストレス評価に関する研究

茨城大学大学院 学生会員 ○高橋 亨
茨城大学工学部 正会員 原田 隆郎

1. はじめに

運転中に外的要因から受けるストレスはドライバの運転パフォーマンスの低下を招き、事故を引き起こす原因となりうる。そのため、高速道路上のストレス要因を把握することは高速道路走行時の安全性や快適性を評価するために重要である。そこで本研究では、運転中のドライバが高速道路上で感じたストレスを、運転中のドライバの生体脈波により把握することを目的とした。ここで、図1に生体脈波の測定原理と脈波の例を示す。生体脈波は外部環境の変化による人体の反応を観察することに適しているため、医療や福祉工学分野で利用されており、また、生体脈波と運転中の精神負荷状態の関係性を把握する研究¹⁾²⁾なども見られる。本研究では、高速道路で車両を運転中のドライバの生体脈波を収集し、脈波の不安定性をドライバのストレスと対応付けることで、高速道路上の要因とドライバのストレスの関係性について検討した。

2. 走行試験とデータの処理方法

走行試験に参加した被験者(ドライバ)は男性12名(M1~12)、女性6名(F1~6)の計18名であり、被験者の年齢は20代と40代であった。また、被験者18名中11名は日常的に車両を運転している。試験区間は常盤自動車道内のインターチェンジ(以下IC)①~IC②間の約12kmの下り方面を対象とし、試験の開始をIC①、終了をIC②とした。

被験者の脈波は株式会社TAOS研究所³⁾製のVital Meterを使用して計測した。試験中の車両の走行速度は高速道路本線で90 km/h±αとし、基本的に走行車線を走行することとした。ただし、被験者には安全を優先させ、やむを得ない場合は車線変更や加速などを行っても良いこととした。また、試験中は常に助手席からビデオカメラによる車外映像の撮影を行った(図2)。

計測した脈波波形はカオス解析により脈波の不安定性を表すリアプノフ指数として定量化する。リアプノフ指数 $\lambda(f)$ は次式で求められる。

$$\lambda(f) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \log |f'(x_i)| \quad (1)$$

ここで、 $f'(x_i)$ は写像拡大率、 N はサンプリングデータ数であり、力学系 $x_{i+1} = f(x_i)$ について、近接した2点から出発した2つの脈波軌道がどのくらいの時に離れていくかを測る尺度として定義される。本研究では既往の研究²⁾を参考にリアプノフ指数を被験者が感じたストレスの指標として定義した。

3. 試験結果

(1) リアプノフ指数の変化量によるストレス要因の抽出

図3は被験者M12の生体脈波からリアプノフ指数を算出し、試験中における推移をグラフにしたものである。ここで、被験者は画像で示した要因によりリアプノフ指数が上昇しており、ストレスを感じていることが確認できる。

キーワード 高速道路、ストレス、生体脈波、リアプノフ指数

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 茨城大学大学院理工学研究科 Tel:0294-38-5268

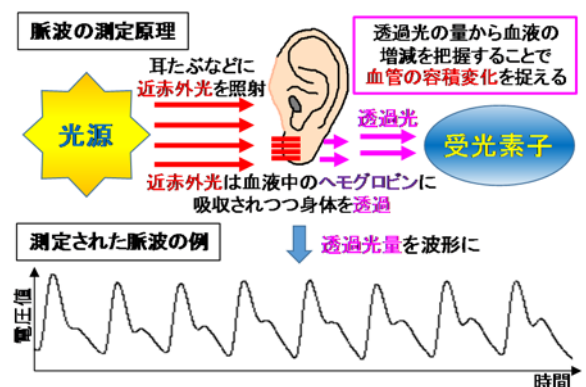


図1 生体脈波の測定原理と脈波波形

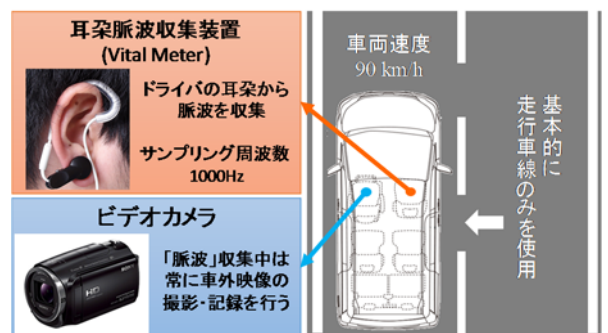


図2 試験方法

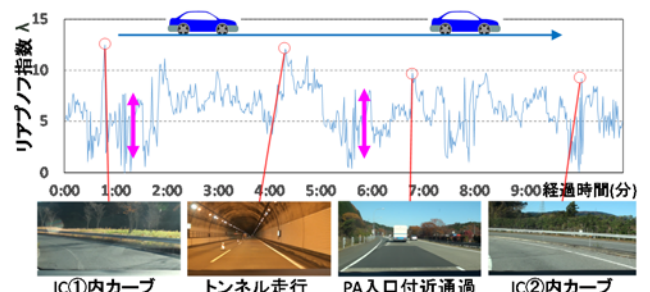


図3 リアプノフ指数の推移

しかし、リアプノフ指数が中程度の値を示しているものの急激に上昇している要因も確認できるため、これらの要因をもれなく抽出するためにも、本研究ではリアプノフ指数の変化量による要因の抽出を行った。リアプノフ指数の変化量 D_t を次式で定義する。

$$D_t = \lambda_{t+i} - \lambda_t \quad (2)$$

ここで、 λ_t は t 秒におけるリアプノフ指数であり λ_{t+i} は $t+i$ 秒におけるリアプノフ指数となる。また、 i は解析単位であり、 $i=1,2,3,\dots,9$ 秒と変化させてそれぞれの変化量で求めることで、図4のように変化量の最大値をもれなく抽出する。

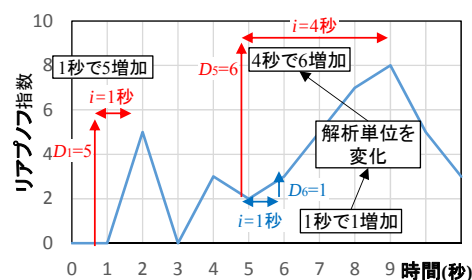


図4 解析単位 i と変化量 D

表1 試験区間上のストレス要因

IC①内カーブ	盛り上がり①	橋梁⑤	盛り上がり②
合流部	舗装のひび割れ①	橋梁⑥	盛り上がり③
パッチング①	橋梁②	上り坂	橋梁⑦
橋梁①	橋梁③	パッチング③	舗装のへこみ
舗装の凹凸①	トンネル①	PA脇	減速車線移行
パッチング②	橋梁④	下り坂	IC②内カーブ
舗装の凹凸②	トンネル②	舗装の凹凸③	その他

表2 最大変化量との変化率 R の算出結果

(2) リアプノフ指数の変化率によるストレス要因の総合評価

次に、抽出した要因によるストレスの感じやすさをリアプノフ指数から総合的に評価するため、各被験者のリアプノフ指数の変化量を試験中における最大の変化量で除することで、被験者ごとの値を正規化することとした。最大変化量からの変化率 R_t を次式で定義する。

$$R_t = D_t / D_{t,max} \quad (3)$$

ここで、 $D_{t,max}$ は各被験者の試験中のリアプノフ指数の最大変化量であり、全解析単位で求めた変化量の中で最大のものとした。ここで R は、値が1に近いほど被験者はその要因に対し強くストレスを感じていることを表す指標である。

表2は表1で抽出したもののの中からIC内カーブ、IC①から本線への合流部、橋梁通過、トンネル走行、PA脇通過の5種類のストレス要因における各被験者の R と各要因における R の平均値を算出したものである。ただし、橋梁⑦、IC②内カーブは被験者M4～M8のデータが計測機器の不調により収集できていなかったため、それらの平均値はデータの取れていた被験者のみで計算した。各要因における全被験者の R の平均値を見ると、各IC内のカーブやトンネル①、PA脇、本線との合流部は R の平均値が高めになっており、被験者全体の結果を総合的に見て比較的ストレスを感じやすい要因であると言える。また、それらと比べ各橋梁では R の平均値が低く、被験者全体ではストレスを感じにくいことが確認できた。

4. おわりに

本研究では、ドライバの生体脈波より算出されるリアプノフ指数の変化量から、高速道路上におけるストレス要因の抽出を行った。その結果、IC内のカーブやトンネルの他に、舗装にひび割れなどが発生している箇所でも被験者はストレスを感じていることが確認できた。また、被験者間のリアプノフ指数の変化量を正規化したリアプノフ指数の変化率 R を考慮することで、各要因の被験者全体の総合的なストレスの感じやすさを評価することができた。

【謝辞】本研究はNEXCO 東日本技術研究助成の援助を受けて実施されたものである。ここに、記して謝意を示す。

参考文献：1)苗 鉄軍，清水俊行，下山 修：生体のカオス性によるドライバの精神負荷状態評価，自動車技術会春季学術講演会，学術講演会前刷集，No.18-03,2003. 2)清水俊行，苗鉄軍，下山修：指尖脈波のカオス分析を用いたドライバの心身状態の定量化，ヒューマンインタフェース学会研究報告集，Vol.6，No.1，pp.97-99，2004. 3)株式会社TAOS 研究所 HP <http://www.taos.tokyo> (2016.3 アクセス)