

心拍データを用いた運転時の 心理的負担場面に関する分析

脇田 佑希子¹・三輪 富生²・森川 高行³

¹正会員 名古屋大学 研究員 未来社会創造機構 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

E-mail: wackie@nagoya-u.jp

²正会員 名古屋大学 准教授 エコトピア科学研究所

E-mail: miwa@nagoya-u.jp

³正会員 名古屋大学 教授 未来社会創造機構

E-mail: morikawa@nagoya-u.jp

自動車の運転において、右折や合流などを行う際に緊張したり、渋滞や他車の割り込みなどに対していらいらしたりすることは誰しも経験がある。このような運転者にとって心理的に負担となる場面を回避して移動することができれば、より快適な交通を実現できる。一方で、運転時に負担に感じられる場面は運転者ごとに異なると考えられる。そこで本研究では、運転時に心理的負担となる場面を運転者の生体情報から把握することを考える。運転者の生体情報を取得するために、運転者にホルター心電計を装着した状態で実道路を走行してもらう実験を行う。実験により得られた運転者の心拍データおよび走行中の車両データを用いて運転時の心理的負担場面を検出する手法について示し、運転者の主観により申告された心理的負担場面との比較を行う。

Key Words : *driver, mental loads, driving stress, heart rate, regime switching model, latent class regression model*

1. はじめに

自動車の運転において、右折や合流、渋滞など運転者にとって心理的に負担となる場面は少なくなく、またそれらの場面は運転者ごとに異なると考えられる。本研究では、運転時に心理的負担となる場面を運転者の生体情報から把握することを目指す。

運転者の心拍変動と心理的負担との関係に関する研究は2000年ごろから行われている。栗谷川らは、心拍データから運転者が苦手または危険と感じる場面を検出する手法について提案している¹⁾。栗谷川らの手法では、心拍データから運転者が苦手または危険と感じる場面を特定するために閾値を設定しなければならず、その閾値を定めるためのパラメータは手動で調整する必要がある。これに対して本研究では、計量経済学的手法に基づいて心拍データの局所的な変動をとらえることを考える。さらに、運転操作の心拍変動への影響について調べるため、潜在クラス回帰モデルを用いて分析を行う。

次節以降の構成は以下の通りである。2節では運転者の生体情報を取得するための走行実験について述べる。3節では実験により得られた運転者の生体情報および走行中の車両データを用いて運転時の心理的負担場面を

判別する手法について示す。4節では潜在クラス回帰モデルを用いた分析について述べる。5節は本論文のまとめである。

2. 運転者の生体情報収集実験

運転者の心拍データおよび運転者自身の主観による心理的負担度の評価を得るために、実車による走行実験を行った。実験の概要を表-1に示す。走行コースは名古屋大学を起終点とする1周約1時間のコースである(図-1)。

表-1 生体情報収集実験の概要

実験日	2014年6月27日~7月4日
被験者	男子大学院生3名
走行回数	1名あたり3回または4回
使用車両	プリウス
心拍データ収集機器	CarPod
収集データ	-CAN(速度, GPS等) -車両前・後方映像 -運転者心拍 -運転者の主観による運転中の心理的負担箇所・負担度申告

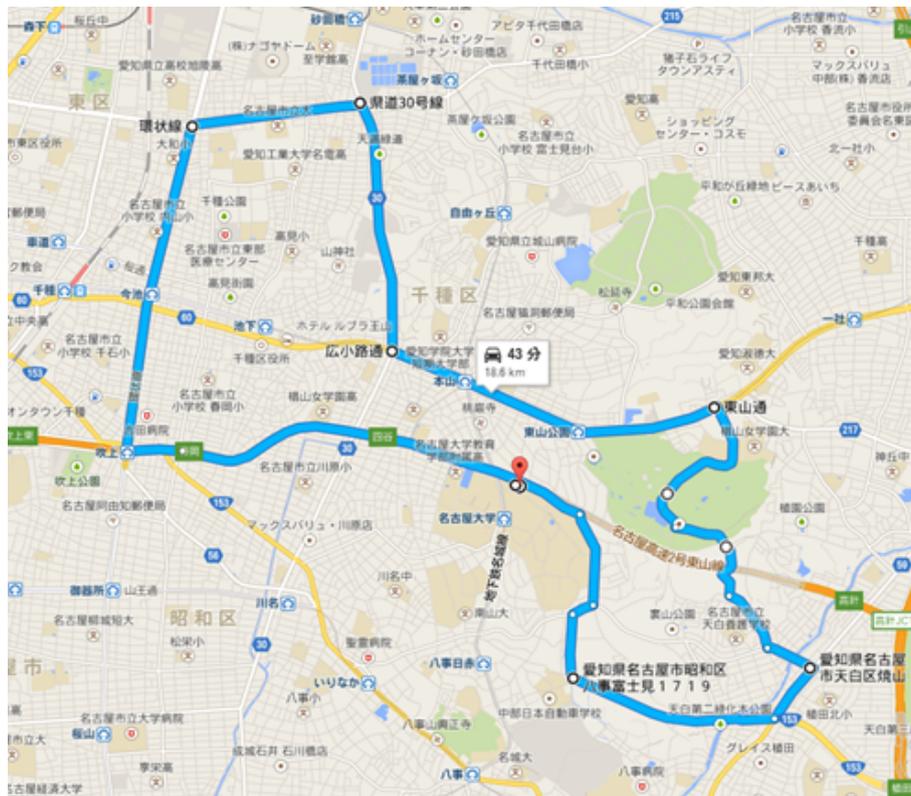


図-1 走行コース

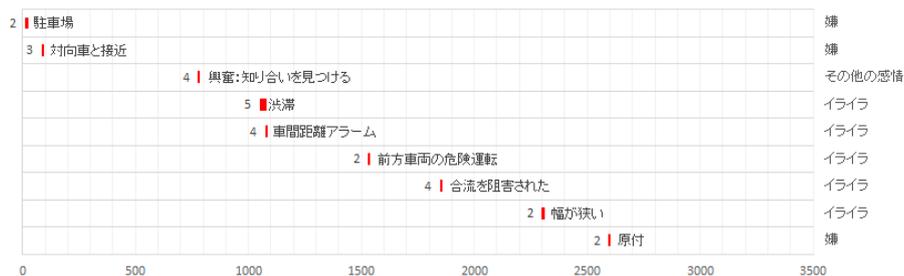


図-2 運転者の主観によるストレス申告の例

走行時の速度等の車両データは車内 CAN (Controller Area Network) により取得し、1 秒間隔でサンプリングする。運転者にはホルター心電計 CarPod (メディリンク社製)²⁾ を装着してもらい、運転中の心拍データを収集する。記録されるデータは心臓の拍動の間隔 (RRI) であり、分析のためにはこれを 3 次スプライン補間により 1 秒間隔でサンプリングし、逆数をとって 1 分あたりの心拍数に換算する。また、運転者が心理的負担を感じた場面を把握するため、運転後に走行実験中の動画を見ながら「苦手」「危険」「イライラ」「嫌」など感じた箇所について申告してもらった。申告結果の例を図-2 に示す。図中の数値は心理的負担度についての 5 段階評価である。

3. レジームスイッチングモデルによる分析

心拍変動は自律神経機能と関係があり、緊張時やストレスを感じているときには交感神経優位となり心拍数が上昇するとされる³⁾。本研究では、心理的負担を感じるにより心拍数が高くなっている箇所とそうでない箇所とを判別するために、計量経済学的手法を用いる。計量経済学分野において、景気の好不況や株価のトレンドなどのような「見えざる状態」を区別するために用いられるモデルとしてレジームスイッチングモデル⁴⁾がある。本研究で対象とする運転者の心理的負担の有無も「見えざる状態」であると考え、レジームスイッチングモデルを適用する。

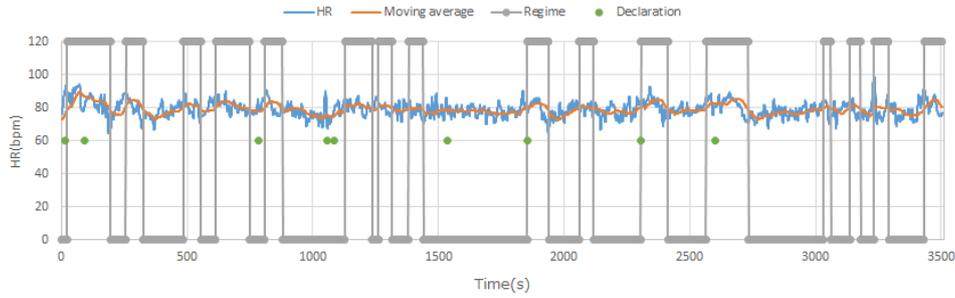


図-3 レジームスイッチングモデルによる判別

レジームスイッチングモデルは、異なる性質を持つ複数の状態の転換がマルコフ過程に従うものとして記述されるモデルである。本研究では、心理的負担を感じている状態と感じていない状態の2状態を考え、心拍数の60秒間移動平均についてレジームスイッチングモデルを適用する。ここで移動平均をとる理由は、短期間の細かい心拍変動を除去するためである。

2状態レジームスイッチングモデルを適用した結果を図-3に示す。グラフの上辺および下辺の太線で示す区間がそれぞれのレジームであり、●印が運転者からの負担を感じた場面の申告箇所である。時刻1550秒付近の1箇所を除いては、グラフ上辺に示すレジームと申告箇所がほぼ一致していることがわかる。このことは、レジームスイッチングモデルを用いて心拍データから心理的負担場面を検出できる可能性を示している。

4. 潜在クラス回帰モデルによる分析

心拍変動に対して運転操作がどのように影響しているかを調べるため、潜在クラス回帰モデルを用いて分析する。使用するデータは、運転者3名（それぞれドライバA, B, Cとする）の各1回分の運転時の心拍数および車両データである。心拍数を目的変数、運転操作に関する変数を説明変数とする回帰モデルは次式で与えられる。

$$\left. \begin{array}{l} E_S = \beta_S \\ E_N = \beta_N \end{array} \right\} + \beta_t t + \beta_h h + \beta_v v + \beta_B \delta_B + \beta_C \delta_C + \begin{cases} \epsilon_{S_i} \\ \epsilon_{N_i} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 E_S , E_N は心理的負担があるときとないときの心拍数、 β_S , β_N は心理的負担があるときとないときの定数項、 t は運転開始からの走行時間、 h はハンドル操作量の過去30秒間の和、 v は走行速度の過去30秒間の和、 δ_B , δ_C はドライバBまたはCを示すダミー変数、 ϵ_{S_i} , ϵ_{N_i} はドライバ*i*の心理的負担があるときと

ないときの誤差項である。

また、心理的負担がある状態への転移は過去30秒間のブレーキの操作量に基づくと仮定する。心拍数の低い状態から高い状態へ転移する確率は以下のプロビットモデルで表されるものとする。

$$\begin{aligned} P_S &= \text{Prob}(u_S + \xi_S > \theta + \xi'_S) \\ &= \text{Prob}(\xi'_S - \xi_S < u_S - \theta) \\ &= \text{Prob}(\xi''_S < u_S - \theta) \\ &= \int_{-\infty}^{u_S - \theta} f(\xi''_S) d\xi''_S \end{aligned} \quad (2)$$

$$u_S = \sum_{j=1}^{30} \{e^{jz_0} (\alpha_b b_{-j})\} \quad (3)$$

P_S は転移確率、 z_0 は30秒前までの減衰率、 b_{-j} は*j*秒前の負の速度差分、 α_b は負の速度差分に対するパラメータである。負の速度差分はブレーキの操作量を反映していると考えられる値である。ただし、微小な速度差分には停止中のわずかな車両の動き等の影響も含まれると考えられるため、 $-0.556[\text{m/s}^2]$ 未満の速度差分を用いる。

3名の運転者の心拍数および車両データを統合し、潜在クラス回帰モデルのパラメータ推定を行う。推定結果を表-2に示す。これより、走行時間が長くなるほど心拍数が低下し、ハンドル操作量および走行速度が大きくなるほど心拍数が上昇することがわかる。また、ブレーキの操作量が大きくなるほど心理的負担がある状態になりやすいといえる。

5. おわりに

本研究では、運転時に心理的負担となる場面を運転者の心拍データから把握することを目的として心拍データの分析を行った。レジームスイッチングモデルを適用することで心拍数の高い状態と低い状態に区別するこ

表-2 潜在クラス回帰モデルの推定

説明変数	推定値 (t 値)	
定数項 (高 低)	83.8(175.45)	79.0(390.21)
ドライバ A 誤差項 (高 低)	4.90(12.87)	4.39(95.80)
ドライバ B 誤差項 (高 低)	5.09(52.92)	3.05(49.84)
ドライバ C 誤差項 (高 低)	7.04(113.61)	2.83(8.27)
走行時間 [時]	-1.77(-9.49)	
ハンドル操作量の和 [度・秒]	0.000714(19.32)	
走行速度の和 [(km/h)・秒]	0.000253(2.35)	
ドライバ B ダミー	4.41(19.03)	
ドライバ C ダミー	-7.11(-13.92)	
ドライバ A θ	2.30(-5.32)	
ドライバ B θ	1.24(-11.74)	
ドライバ C θ	-0.755(4.15)	
減衰率	-0.0151(-2.07)	
負の速度差分 [m/s ²]	-0.0140(-7.36)	
修正 R ² 値	0.444	
AIC	60129.204	

とができ、運転者の主観による心理的負担箇所の申告状況と比較的良く一致していることが確認できた。また潜在クラス回帰モデルによる分析から、ハンドル操作および走行速度が心拍数上昇に影響し、ブレーキ操作が心理的負担のある状態への転移に影響していることが示された。

謝辞： 本研究（の一部）は国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）の研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーション（COI）プログラム」の支援によって行われた。

参考文献

- 1) 栗谷川幸代, 大須賀美恵子, 景山一郎: 心拍変化を用いた高齢ドライバの苦手・危険場面検出をめざして, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 9(2), pp.187-194, 2007.
- 2) 株式会社メディリンク: MEDI LINK 多機能ワイヤレスホルタ記録器 CarPod, <http://medi-link.jp/CarPod/> (2015.4.1 確認).
- 3) 日本自律神経学会 (編): 自律神経機能検査, 第4版, 文光堂, 2007.
- 4) Hamilton, J. D.: A New Approach to the Economic Analysis of Nonstationary Time Series and the Business Cycle, *Econometrica* 57, pp.357-384, 1989.

(2015. 4. 24 受付)

Analysis of Driving Scenes with Mental Loads Using Heart Rate Data

Yukiko WAKITA, Tomio MIWA and Takayuki MORIKAWA