

# 運転者の生体信号解析による 安全運転支援のための状態推定

森本 哲郎<sup>1</sup>・井村 龍哉<sup>2</sup>・戸田 和宏<sup>3</sup>・堀 翔太<sup>4</sup>・上善 恒雄<sup>5</sup>

<sup>1</sup>非会員 株式会社社会システム総合研究所 (〒 550-0002 大阪市西区江戸堀 1-22-4)  
E-mail: morimoto@jriss.jp

<sup>2</sup>非会員 株式会社社会システム総合研究所 (〒 550-0002 大阪市西区江戸堀 1-22-4)  
E-mail: imura@jriss.jp

<sup>3</sup>非会員 株式会社電通国際情報サービス (〒 108-0075 東京都港区港南 2-17-1)  
E-mail: toda@isid.co.jp

<sup>4</sup>非会員 京都大学大学院 医学研究科 (〒 606-8507 京都府京都市左京区聖護院川原町 53)  
E-mail: shota0916@gmail.com

<sup>5</sup>非会員 大阪電気通信大学 総合情報学部 (〒 575-0063 大阪府四条畷市清滝 1130-70)  
E-mail: jozen@oecu.jp

**概要:** 高齢化社会の進展に伴い、運転者の身体的・精神的な問題に起因する事故は増加しており、運転者の健康状態の異変を早期に発見し未然に事故を防止することは社会的な課題である。我々はセンサーネットワーク技術を活用して運転者の生体信号や身体動作を計測するシステムの構築を行った。本システムに蓄積した脈波、視線、腕や頭部の姿勢、カメラ映像から抽出した顔の特徴点の時系列データ解析から生体のゆらぎを捉え、運転者の状態推定を試みた。本論文では、複数のセンサーデバイスを用いて実施した走行実験に基づく時系列データ解析と状態推定の分析について報告する。

**Key Words :** 生体信号, センサーネットワーク, 時系列データ解析

## 1. はじめに

自動車事故の発生は様々な要因を含んでいる。例えば、道路環境や交通状況などであるが、人の健康状態が関係している事故も多い。少子高齢化が進む社会で、自動車事故の防止に向けた研究は重要性を増している。

現在我々は、自動車の完全自動運転が実用化されるまでの問題解決に向けて、車両の状態に加えて運転者の生体信号解析による安全運転支援システムの構築を進めている<sup>1)</sup>。データの収集と解析の基盤を情報通信研究機構のテストベッド環境 JOSE 上に PIAX<sup>2)</sup> ベースで構築中である。生体データと車両情報を蓄積・学習することによって、普段とは異なる健康状態や車両の不備を検知することを目的に研究を進めている。また、蓄積したデータから個人情報を配慮した上で、危険箇所・危険運転に関するデータを公開し、全国規模で活用できるオープンデータの基盤として構築中である。

生体のゆらぎを捉えることは容易ではないが、身体の動作や心拍の変動をセンサー技術を活用して定量化する試みは多く報告されている。

我々は、みなと観光バスのご協力のもと、バスと運転者にいくつかのセンサーデバイスを取り付けてデータ収集のための走行実験を行った。本報告では、走行

実験で収集したデータの解析と運転者の状態推定について報告する。

## 2. 関連研究

生体ゆらぎを捉え疲労や眠気を推定する研究は多く報告されている。

高田らの研究<sup>3)</sup>では、加速度脈波のピーク間隔から平均値と標準偏差で求めた心拍変動係数および、周波数解析から求めた自律神経機能の成分比(LF/HF)を用いて自律神経機能の評価分析について報告している。

土川ら<sup>4)</sup>は心電図のピーク間のバラつきを分析する手法で、運転時間の経過とストレスの蓄積の関係性について複数のストレス指標の比較実験を行った。

足立ら<sup>5)</sup>は、CCD カメラで瞬きを計測する仕組みを用いて、運転者の意識低下の検出を試みている。

## 3. センサーデバイス

本実験で使用したセンサーデバイスは以下の通りである。

脈拍センサーは、運転操作の邪魔にならないよう腕時計型のウェアラブルデバイスを用いた(EPSON 社製, PULSESENSE)。この脈拍センサーでは 4 秒間の平均心

拍数を 1 秒毎に計測し、BLE(Bluetooth Low Energy) でデータ送信を行う。脈拍数は心電図や脈波より比較的簡易に計測可能である利点がある。脈拍数からは緊張状態などを推定するために収集する。

3D カメラは非接触型で運転者の顔を撮影し顔の特徴点を 78 点の座標値に変換できるものを用いた (Intel 社製, RealSense)。このカメラで計測した顔の座標点から目と口の開き具合を計算し、疲労・眠気の予兆を検知する。

車載センサー (みなと観光バス社製) では車両の GPS 位置情報と車速パルスやエンジン回転数などを計測する。

これらのセンサーデバイスで計測したデータを解析し総合的に分析することによって、運転者の状態推定や危険運転の検出を行う。

## 4. データ解析手法

### (1) 緊張度の算出

心拍の変動から自律神経のバランスを推定するための手法として、周波数領域のパワースペクトル密度から高周波成分と低周波成分を抽出する手法が報告されている<sup>3)</sup>。RRI の高周波 HF(Hi Frequency) は副交感神経、低周波 LF(Low Frequency) は交感神経と副交感神経の両方の影響を受けており、LF/HF 比は自律神経のバランスを表す指標とされている。

図 1 は脈拍センサーでセンシングした脈拍数を表している。この脈拍数の時系列データに 300 秒のウィンドウ幅を適応し、1 秒毎にスライドさせながらデータを切り出す処理を行った。図 2 はウィンドウ処理を行っている様子を表したものである。ウィンドウを移動させる毎に、AR モデル (自己回帰モデル) を用いたパワースペクトル密度の推定を計算する。図 3 はウィンドウ幅で切り取られた心拍データのパワースペクトル密度を表したものである。計算したスペクトラムから LF 成分は 0.04Hz ~ 0.15Hz, HF 成分は 0.15Hz ~ 0.40Hz の領域の積分値から、LF/HF 比を算出し時系列データを生成した (図 4)。

AR モデルによるスペクトラム計算には R 言語の spectrum 関数を用いた。

### (2) 目と口の開閉値の算出

入眠前には瞬きの持続時間が長くなることや発言が少なくなることが知られているため、目や口の動きを定量的にセンシングすることで眠気の予兆を検出することが可能である。

我々は 3D カメラを用いて、運転者の顔から 78 点の特徴点をセンシングした。特徴点は図 5 に示す通りそれぞれ番号が割り振られている。目と口の開閉値は 2

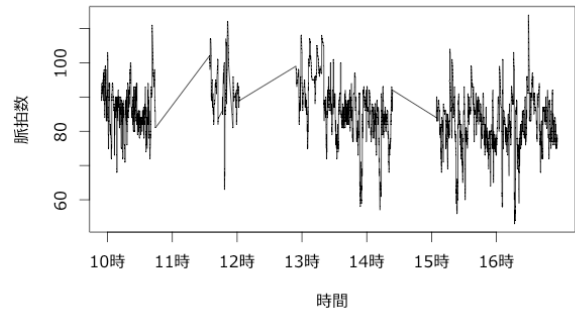


図-1 心拍数

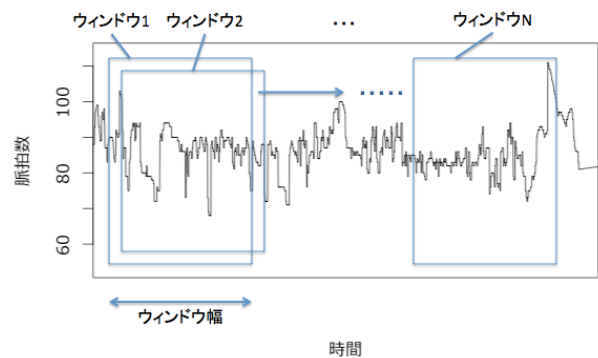


図-2 ウィンドウのスライド

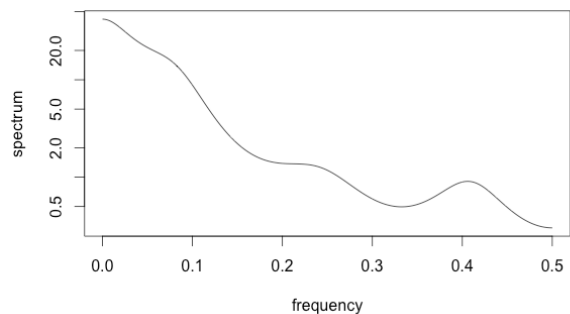


図-3 脈拍のスペクトル密度 (AR モデル)

点間の距離で求めることができるが、カメラから顔までの距離に比例して変化するため、目・口の縦横比を用いて補正処理を行った。右目では、横幅を 10 番と 14 番の距離と、縦幅を 12 番と 16 番の距離を求め、開閉値を縦幅/横幅とした。同様の方法で左目では、横幅を 18 番と 22 番の距離と、縦幅を 20 番と 24 番の距離から開閉値を算出した。口の開閉値は、横幅を 45 番と 49 番、縦幅を 47 番と 51 番から計算した。

次に、算出した開閉値には正常時の瞬間的な瞬きも含まれているため、移動平均を用いて平滑化を行った (図 6)。平滑化したデータから、左右の目の開閉値 0.2

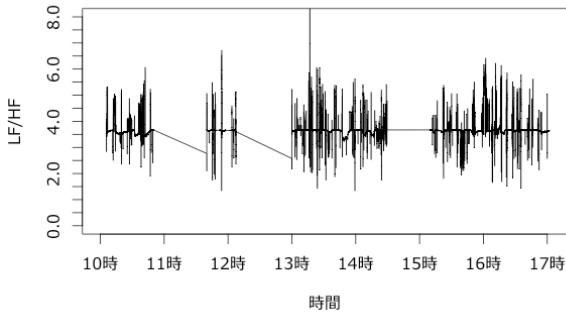


図-4 脈拍の LF/HF

以下且つ、口の開閉値 0.1 以下であるデータを抽出し眠気の予兆の推定として分析を行った。

図 7 は開閉値が低下した時刻と車両の速度の関係を表した図であるが、開閉値が低下している時間帯は信号待ち等により減速中や停車中であることがわかる。つまり、今回の走行実験では、目と口の開閉値による疲労・眠気の検知は発生しなかった。

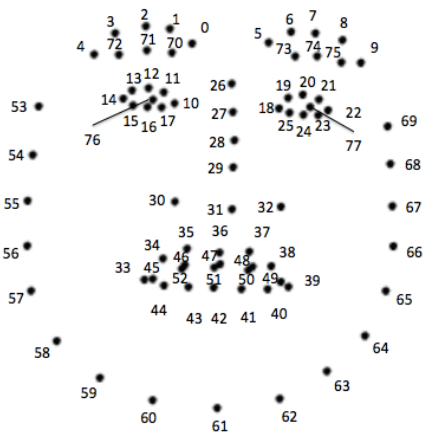


図-5 顔の特徴点

## 5. データ分析

運転者の状態を推定するには、緊張・疲労・眠気を定量化することが重要である。自律神経機能は 1 日の中で大きく変動していることが知られており、心拍数は昼間は高く夜間は低いという概日リズムを持つとされる。必ずしも当てはまるわけではないが、脈拍数が高い時は緊張状態を反映し、脈拍数が低い時は眠気を反映すると考えられている。また、LF/HF は自律神経のバランスを反映しているため緊張状態の指標と捉えることができる。この観点から本報告では、

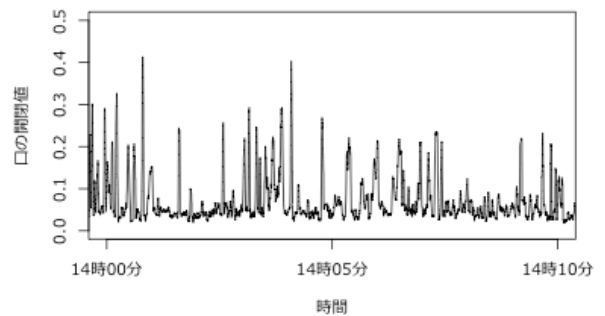
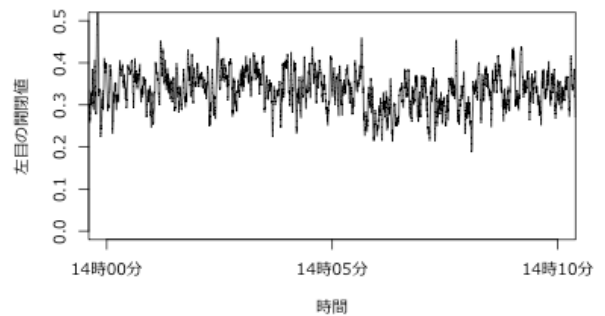
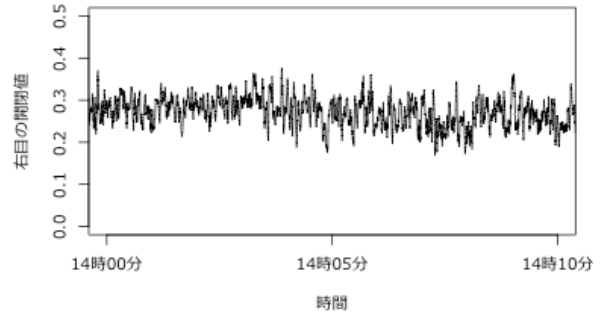


図-6 右目、左目、口の開閉値

- 脈拍数
- 脈拍数から算出した緊張度 (LF/HF)
- 顔の特徴点から算出した目と口の開閉値

を基準に運転時の状態を分析を行った

実験で走行した経路は図 8 に示す通りで、休憩時間を除く以下の 1~4 の区間に分割し分析対象とした。各区間の走行時間と経路の概要は表 1 の通りである。

図 9~図 12 は各走行区間の LF/HF を表したものであり、凡例で示したマークは以下のイベントが発生した時間にプロットしたものである。

- 目と口の開閉値の低下
- 脈拍数が低い (60 以下)
- 脈拍数が高い (100 以上)

次に、1~4 の走行区間別での分析結果を述べる。

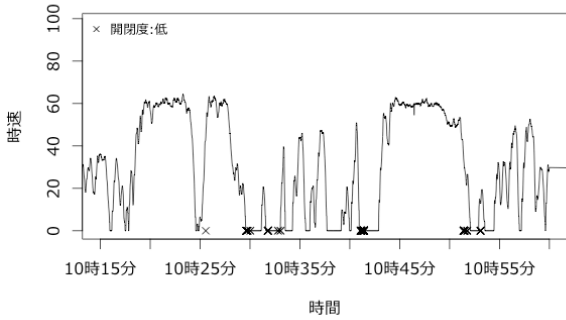


図-7 時速と開閉値の関係

表-1 実験の行程

区間	時間	経路
走行区間 1	10 時 15 分 ~ 11 時 00 分	六甲アイランド ~ 箕谷
走行区間 2	11 時 50 分 ~ 12 時 20 分	箕谷 ~ ハーバーランド
走行区間 3	13 時 10 分 ~ 14 時 40 分	ハーバーランド ~ 道の駅 但馬のまほろば
走行区間 4	15 時 20 分 ~ 17 時 10 分	道の駅 但馬のまほろば ~ 六甲アイランド



図-8 走行ルート

(1) 走行区間 1

走行区間 1 のデータ解析結果を図 9 に示す。

10 時 22 分 ~ 24 分の間、摩耶大橋料金所から手前 2.5 キロメートルの区間に緊張度が高くなっている。この区間の道路は防音壁に囲まれており、見通しが悪かった

ことが影響していると考えられる。

10 時 35 分 ~ 39 分、三宮駅周辺を走行中に緊張度が高い。三宮駅周辺は市街地であり交通量・歩行者も多く緊張状態にあったと考えられる。

10 時 46 分 ~ 10 時 51 分の間、新神戸トンネル有料道路を走行中に緊張度が高い。

走行区間 1 では脈拍数は安定していた。目・口の開閉値の低下が多く検出されたが、信号待ちの停車時に検出されたものであった。

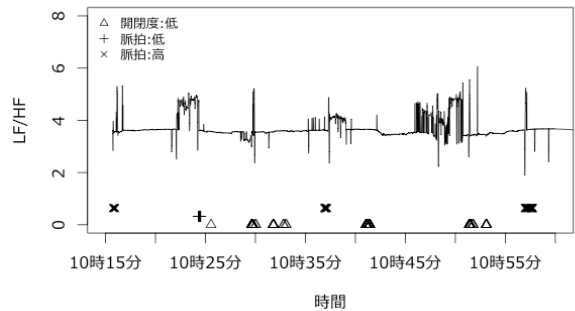


図-9 走行区間 1

(2) 走行区間 2

走行区間 2 のデータ解析結果を図 10 に示す。

11 時 50 分 ~ 57 分と 12 時 3 分 ~ 7 分の間、脈拍数が高い時間帯が見られる。住宅街で道幅が狭く緊張状態であったことが推測できる。

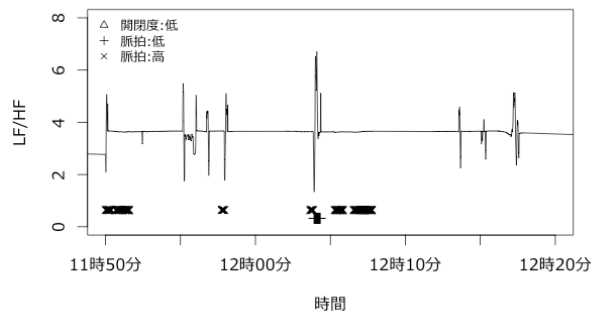


図-10 走行区間 2

(3) 走行区間 3

走行区間 3 のデータ解析結果を図 11 に示す。

13 時 25 分 ~ 30 分の間、走行区間 1 と同様に新神戸トンネル有料道路を走行中の緊張度の高い。

高速道路の山間部でトンネルが多い区間において緊張度が高くなることも分かった。

この走行区間の前半は脈拍数が高く、後半は低く変化しているため状態が変化していることが分かる。

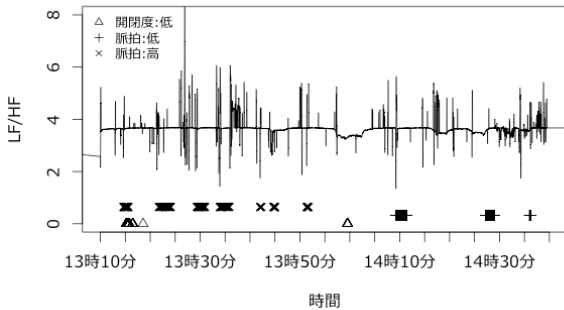


図-11 走行区間 3

#### (4) 走行区間 4

走行区間 4 のデータ解析結果を図 12 に示す。

走行区間 3 の状態に続いて、全体的に脈拍数が低い。脈拍数が低く一定であることから高速道路での単調な運転操作が原因だと推測される。

15 時 47 分～51 分、15 時 59 分～14 時 2 分、16 時 7 分～15 分の間にも緊張度の変化が見られるが原因を特定することはできなかった。

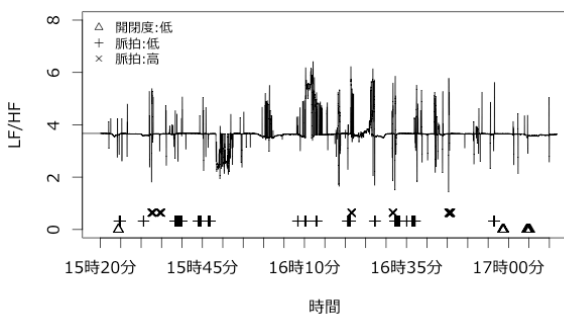


図-12 走行区間 4

## 6. おわりに

我々は、運転者の生体データと車両情報を収集するために、観光バスと運転者にセンサーデバイスを取り付け市街地や高速道路を運転する実験を行った。収集した脈拍と顔の特徴点のデータから運転時の状態推定を試みた。脈拍データでは周波数解析による緊張度の

抽出を行い、顔の特徴点のデータからは瞬きと口の動きを抽出した。分析の結果、脈拍数の LF/HF は、幅員の狭い道やトンネルなどの道路環境が運転者に与えるストレスを反映していることが分かった。

本報告の実験では 1 人の運転者による短時間の実験であったが、今後は複数の運転者対象にした長期的な計測を行っていく予定である。安全運転支援システムの実現に向けて、覚醒度推定の検証を行っていく必要がある。

## 謝辞

本研究の一部は総務省の「戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE)」(受付番号: 150201013) の支援を受けて実施された。

## 参考文献

- 1) 井村龍哉, 森本哲郎, 白浜勝太, 秋山豊和, 西田純二 “安全運転支援のためのオープンデータ収集に向けて” 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (第 14 回日本データベース学会年次大会), 2016.
- 2) 吉田幹, 奥田剛, 寺西裕一, 春本要, 下條真司 “マルチオペレイと分散エージェントの機構を統合した P2P プラットフォーム PIAX” 情報処理学会論文誌 Vol.49, No.1, pp.402-413, 2008
- 3) 高田晴子, 高田幹夫, 金山愛 “心拍変動周波数解析の LF 成分・HF 成分と心拍変動係数の意義: 加速度脈波測定システムによる自律神経機能評価” 総合健診, Vol.32, No.6, pp.504-512, 2005.
- 4) 土川奏, 岩倉成志, 安藤章 “心拍間隔指標を用いた長距離運転時のストレス計測実験と解析 AHS の需要予測にむけて” 土木学会土木計画学研究講演集 Vol.26 CD-ROM, 2002 年 11 月.
- 5) 足立和正, 濱田尊裕, 中野倫明, 山本新, “ドライバの意識低下検知のための動画像処理によるまばたき計測” 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌) Vol. 124 (2004) No. 3 P 776-783.