

運転時の漫然状態推定における生体計測手法

林 亮輔[†] 川上 洋平[†] 菅谷 みどり[†]

概要：漫然運転は自動車での交通事故原因として潜在的に大きな影響がある。特に路線バス運転手は複数経路を数時間走行することに加えて、深刻な人材不足から慢性的な長時間労働により漫然状態を助長する労働環境である。これに対し、副交感神経の指標である心拍間隔の周波数成分 HF の最大値を用いた漫然状態の判定を行う手法が提案されているが、一時的な緊張状態後の心拍数の低下を眠気と検知する可能性があることが指摘されている。本研究では、先行研究の推定手法に対し、脳波とスペクトル解析によらない心拍変動性指標を用いて漫然状態の判定を行うものとし、既存手法との比較を行った。また、漫然状態を誘因する要素についての調査を行い、不快指数と車両速度低覚醒かつ不快の感情との相関が高く、漫然運転の要因の 1 つである可能性があることを示した。

キーワード：生体計測, 漫然運転, 脳波, 不快指数, 車両速度

Biological Signal Measurement Method for Estimating the State of the Driver

RYOUSUKE HAYASHI[†] YOHEI KAWAKAMI[†] MIDORI SUGAYA[†]

Abstract: Voluntary driving has potentially large effects as a cause of traffic accidents in automobiles. In particular, the route bus driver is a working environment that promotes the randomness state by chronic long working hours due to serious human resource shortages in addition to traveling several routes for several hours. On the other hand, although a method has been proposed for determining the random state using the maximum value of the frequency component (1.5 to 4.0 Hz) of the heartbeat interval, which is an index of parasympathetic nerves, the heart rate after temporary tension state It is judged that drowsiness is drowsiness and there is a possibility of false detection even after tension. In this research, we compared the estimation method of the previous research with the method of estimating the random state considering the arousal level by using EEG. We also investigated the cause of the casual state and found out that the discomfort index and the vehicle speed are highly correlated with the low awakening and the feeling of discomfort, so it is one of the causes of the random driving.

Keywords : Biological Sensing, driving, brain waves, discomfort index, vehicle speed

1. はじめに

平成 29 年度の原付以上運転者（第 1 当事者）の法令違反別交通事故件数の割合を示している。全体の 8% 以上は漫然運転が原因とされる事故であり、その件数は 3.8 万件にも及ぶ[1]。加えて運転時の漫然状態は安全不確認（12 万件）、脇見運転（7 万件）など他の事故原因にも潜在的に影響があり、対策が必要である。特にバス運転手は人材不足から毎月 80 時間の残業、複数経路を最大 5 時間周回して運転する事に加えて、人材不足から慢性的な長時間労働により漫然運転を助長する環境であり、対策が求められる[2]。

これに対し、近年、生体情報を用いてリアルタイムに漫然状態を推定するための手法が提案されている。その一つは、心拍間隔(RRI)解析から得られる自律神経解析を元にした漫然状態の判定を用いた検出

手法であり、製品化されている[3]。RRI 解析では周期性を検討するのにスペクトル解析が一般的に用いられる。健康者の場合、心拍変動制(HRV)スペクトルには主なピークが二つあり、0.25H(周期約 4sec)の成分と、約 0.10Hz(周期約 10sec)の成分であり、前者を高周波数 HF (high frequency)成分、後者を低周波数成分 LF(Low frequency)成分と呼ぶ[19]。[3]では、RRI をフィルターや相関法等で成形後、周波数解析し、「交感神経が活性化しているときも、副交感神経が活性化しているときも現れる LF 成分」と、「副交感神経が活性化しているときのみ現れる HF 成分」とを分けて、後者のパワースペクトルの最大値(以下 HF の最大値)が覚醒状態を示すとした上で、これを覚醒度と定義し、眠気時にその値に変化があることを利用し、眠気の指標としている [3][4][5]。さらに、イヤークリップ型の心拍センサから生体情報を取得して低覚醒時に首元でデバイスが振動し運転手に警告して知らせる。

しかし、本手法については(1)「HF の最大値だけ

[†] 芝浦工業大学
Shibaura Institute Of Technology

では漫然状態と緊張状態を区別できていない。」との指摘がなされている[2]。これは、「一時的な緊張が起こると心拍数は上がるが、元の平静状態に戻るときの心拍数の低下を眠気と判定してしまう恐れがある。」という柳平らの指摘[6]にあるように、心拍のスペクトラム解析のみでは緊張状態と、眠気を伴う漫然状態を判別することが困難であることが原因と考えられる。また、(2)事業者にとっては、漫然運転の原因について調査考察し、原因とされる条件を推定し、これに起因する事故を防ぐ必要があるが、内部の生体情報の変化と合わせた変化について眠気を伴う漫然状態の指標は、統一的な評価により十分に検証されていない

本研究では、先行研究の推定手法に対し、脳の前頭葉から取得される α 波、 β 波の差分から覚醒度を取得すると同時に心拍心拍変動性の指標を用いて漫然状態を推定する手法を提案し、既存研究で使われた指標との比較を行った。また漫然状態の要因調査を行い、不快指数と車両速度が低覚醒かつ不快の感情との相関が高いことを示した。

本論文は2節で提案、3節にて予備実験、4節にて本実験、5節にてまとめと今後の課題を述べる。

2. 提案

2.1 概要

本研究では、課題を解決することを目的として、「新たな漫然状態推定指標と先行研究での指標の比較評価」と「漫然状態の要因調査」を次の手順で実施する。

(1)心拍の測定に「脳波の測定」を追加し、漫然状態推定手法を比較する。

(2)漫然運転の要因を分析する

(3)主観評価に基づく推定手法の比較評価を行う。

(4)比較評価で最も有用な手法を元に漫然状態の要因の分析を行う。

(1)の実現にあたり、生体感情推定手法で用いられた、脳波と心拍の二つの値を二次元座標に対応づけて、人の状態推定を行う[7][8]。

2.2 生体情報を用いた漫然状態の推定

一般に、 α 波は閉眼、安静を示し、 β 波は覚醒度を示すことから、 $\beta - \alpha$ の値が大きいほど覚醒度が高いことを示す。本研究では、脳波計(Mind Wave Mobile)から算出された α 波からノイズをのぞいて正規化した値から得られるMeditationと、 β 波から同様の正規化を行なって得られるAttention[9][10][11]の値のセンサ値を用いて判定するものとした。これらの差分値を得て、マイナスの場合には脳が低活動、プラスの場合には脳が高活動とした。

心拍指標については、スペクトル解析によらない心拍変動性の指標であるpNN50の評価指標を用いるものとした。pNN50は、RR間隔変動の検討のうち、拍動間隔が50ms以上の割合を示すもので、スペクトル解析よりも呼気の影響を受けづらく、かつ値の計算も早い利点がある。本研究では1台のマイコンに心拍センサと温度湿度センサを搭載し、ノイズを遮断するためのハイパスフィルタを用いて高周波成分のノイズを除去した値を用いるものとした。

これらの脳波値と心拍値を用いて、ラッセルの円環モデル[8]から状態推定を行う(図1)。本研究では、脳波における低覚醒、かつ心拍指標値で低pNN50値の状態を示す第三象限を漫然状態とした(図1左下)。また、原点からの距離を感情値の大きさとし、値が大きい程、感情を強く想起されたものとみなし、漫然状態を第三象限にて閾値以上の感情強度を観測した状態とした。

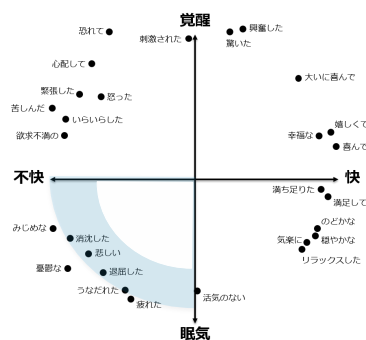


図1 漫然状態 (第三象限)

2.3 感情推定手法

脳波と心拍の値からプロットされる点の解析手法を説明する。平松らの研究では、ある時点で観測された値を二次元座標に対応づけた後、8感情に分類し、その後に観測値の割合が多い感情を基本感情として算出する[7]。本手法では、センサから取得された値をラッセルの円環上にある感情用語に対応づける段階で、センサ値の強度がわかりづらくなる問題がある。このことから、本研究では、感情値そのものの大きさを議論の対象とするため、8感情に分類せずに、プロットした点と原点の距離を感情値の大きさと定義して用いるものとした。

2.4 漫然状態の要因分析のためのデータ

2.1節で述べた漫然状態の要因を分析するために必要となる(2)データの収集については、以下の要素が誘因となるものであると考えた。

1. 橋やトンネル、交差点など経路に依存した要素 (位置情報)
2. 停車と渋滞 (車両の速度)
3. 車内の体感温度 (温度と湿度)

4. 精神的疲労度と肉体的疲労度（健康管理チェックシートの点数）
5. 運転手の安全運転意識（安全運転能力検定の点数）

2.5 システムの概要

漫然状態推定と、その要因となる要素のデータの収集を実現するために図 1 に概要を示したシステムを開発した。

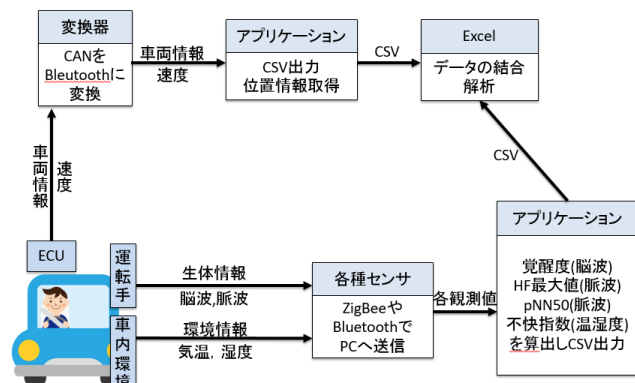


図2 データ収集システム概要図

車載コンピュータである、ECU(Electronic Control Unit)から位置情報と速度を収集、運転手に Arduino と脳波計を装着しそれぞれ「心拍、気温、湿度」、「脳波」を収集し、これらのデータと健康管理チェックシートの点数、安全運転能力検定の点数をまとめ、解析対象とした。

2.6 データ収集方法

車載コンピュータ（以下 ECU）には車内連携する装置システムから多くの情報が集まる。この情報を利用するため、本研究では、OBD 2 端子からリアルタイムで車両速度を取り出す方法を実装した。OBD（On-board diagnostics）2 とは、2008 年 10 月から乗用車などに取り付けが義務付けられた規格であり、マルチシリアルバス規格である CAN 上で OBD2 規格のデータが通信される。OBD 2 では自動車メーカー依存の専用接続プロトコルがあり、実験にて同一の車両を使っていない本研究では、開発実装することは困難であることから、TOONWON 社製の「OBD II PRO」と ganchi が制作した「OBD Info-san! for Android」を使用した。

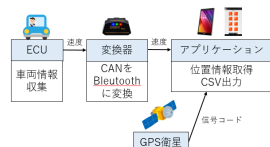


図3 車両情報の処理手順

2.7 温度湿度の取得方法と不快指数

温度と湿度はマイコンに実装した DH11 というセンサを使用し、温度と湿度を取得した。取得した値を以下の計算式に代入することで不快指数が定まる。

$$DI = 0.81T + 0.01H \times (0.99T - 14.3) + 46.3 \quad (DI: \text{不快指数}, T: \text{温度}, H: \text{湿度})$$

不快指数は温度と湿度より求まる人が感じる快適の度数である。値が高い程に暑く、低い程寒く感じる。Earl Crabill Thom は 70~76 は快適だと感じる人が多いと述べている[12]一方で、久川の行った調査[13]では日本人は 70~74 が快適と感じる人が多いとの意見もある。本研究では、不快指数の提唱者である Earl Crabill Thom の 70~76 という値を参考にした。

2.8 精神的肉体的疲労度の調査

運転手の疲労度は「健康管理チェックシート」[14]を用いて行った。回答した結果によって総合評価(i)、身体的評価(ii)、精神的評価(iii)それぞれ3パターンに分類される。本研究で用いたチェックリストと判定結果の分類方法を付録 1 に示す。これを実験直前に実施し、実験協力者ごとの精神的な疲労度、肉体的な疲労度、総合的な疲労度の調査を行った。また協力者候補内で、この点数から危険ゾーンに判定されたものは、実験の安全性を考慮し協力者から除外した。

2.9 安全運転能力の調査

実験協力者には、安全運転能力検定 3 級[15]を受験してもらった。同法人の調査によると[15]実際の運転評価と安全運転技能問題の正解率には相関がみられ、安全と判断された運転手の平均正解率は 69.8%、普通と判断された運転手の平均正解率は 60.5%、危険と判断された運転手の平均正解率は 49.5%であった。

問題は全 20 問、普通自動車運転免許試験に似た問題が出題される。本研究では安全運転能力の調査と実験協力者の募集の際に、点数の著しく低い協力者を排除し、実験中の事故が起きないための安全確保の指標にも使用した。

2.10 運転中のヒヤリハットなどの記録

実験経路を走行中に車の割り込みや緊急車両の通過といった様々な状況でのヒヤリハットの記録に対応するために、実験中はビデオカメラで車両前方を録画した、また撮影できないようなヒヤリハットは別途記録した。

3. 予備実験

3.1 概要

本実験は運転手の感情の経路上での変化を、推定した感情値と、感情が想起された地点での特徴との対応付けを行い、感情値の妥当性などを検証し考察する。実験で走行する経路は、橋の上での緊張が観測されることが予測されることや、経路途中に交番と消防署、合流点、など多様な要素を含む図 3 の経路を採用した。また、同じ経路を 4 周することでバ

ス運転手の馴化により漫然状態を助長する環境を想定した。ただし、長時間の運転は一般の運転手では事故等の危険性を有するので、40~60 分の運転とした。「実験中のヒヤリハットと緊張状態の観測との対応から漫然と緊張の判別について」と「周回ごとの閾値以上の漫然の感情値の観測回数の推移から馴化による影響」を考察する。



図 4 予備実験での走行経路

3.2 実験環境と手順

予備実験協力者は 1 名（20 代男性）とした。実験にはコンパクトカー（車種：ノート）を用い、安全性を考慮し整備にされたレンタカーを使用した。また、実験手順は以下の通りである。

- (1) 被験者に脳波計、心拍計を装着してもらい一分間安静にする。
 - (2) 被験者が車両の操作に慣れ、経路を確認するために計測せずに一周する。
 - (3) 被験者に経路を 4 周運転してもらう。
 - (4) 感情データ csv をもとに感情反応を分析
- 図 5 に開発した装着のためのウェアラブルデバイスと、脳波計と心拍計を装着した様子を示した。



図 5 脳波計と心拍計を装着した様子

3.3 実験結果と考察

結果を図 6, 7 に示した。第三象限の値（漫然状態の指標）は連続して感情を観測している一方、第二象限の値は突発的に強い感情値を観測しているのに対して、それぞれ固有の特徴がみられた。

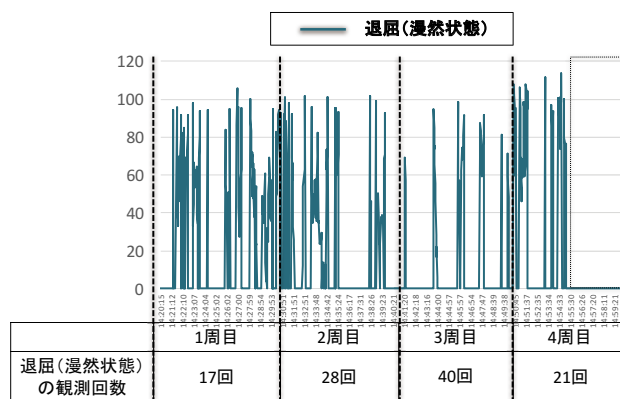


図 7 退屈（漫然；低覚醒，不快）の観測

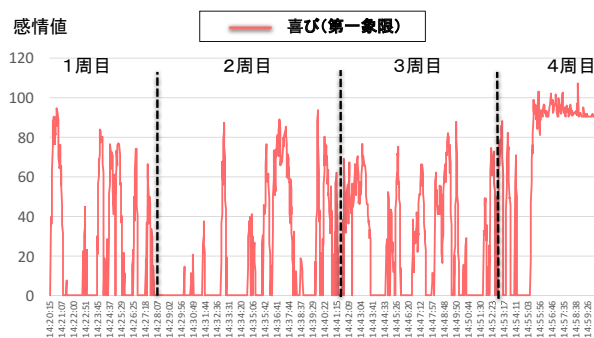


図 7 喜び(高覚醒，快)の観測

漫然状態の観測：実験中に漫然状態は長時間にわたって観測した，予備実験では閾値を実験中の感情値の平均（原点からの距離）に 1.5 倍した値を用いた。

「感情の平均値の 1.5 倍以上の感情値が図 7 に示した第三象限にて観測された時」を漫然状態と定義した。図に示すように，3 周目では最も多く漫然状態が観測され，1~3 周目にかけては，周回を重ねるごとに観測した回数が増加していることから馴化による漫然状態への影響も見られた。反対に，4 週目の最後では強い喜び状態が観測された（図 7）。これは，ゴールに向かって感情が高揚したものと考えられる。

緊張状態の観測：結果を図 8 に示した。観測結果を実験開始直後に緊張を頻繁に観測したが，これは実験協力者の運転経験が浅く，発進時に緊張したことが原因と考えられる。また実験中に 1 周目から 3 週目まで共通した地点で緊張が観測された。図 9 に示すように春海橋の手前で車線変更する必要があり，誤った車線を走行していると実験経路から外れてしまう危機感から緊張が観測されたと推測された。

また、「晴海橋と橋を降いた交差点」と「新豊洲交差点」で，漫然状態が観測された。これは二車線一方通行の対向車が存在しない状態で，危機感の低下から低覚醒状態になったことが原因ではないかと推測できる。また，新豊洲周辺では信号渋滞のために退屈したと推測でき，漫然状態を観測した地点ならば

因果関係が対応しているが、これは必ずしも必要な関係ではないので、さらに的確な定義が求められる。

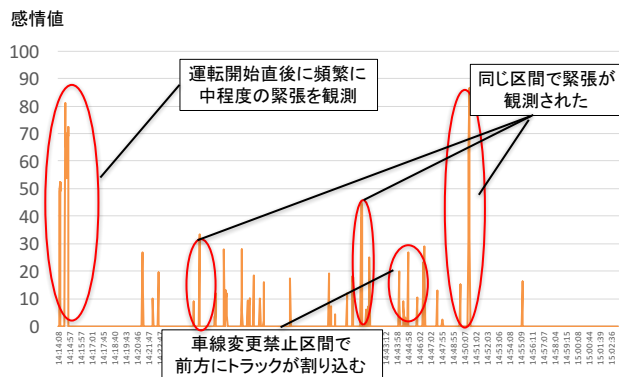


図 8 緊張(高覚醒, 不快) 状態の観測



図 9 晴海橋手前の車線変更

3.4 課題

本実験に向け改善すべき点は以下の 4 点である

1. 心拍間隔の RRI の周波数解析を行い HF の最大値を算出し、提案手法との比較評価を行う。
2. 予備実験にて正常に動作しなかった位置情報取得アプリケーションは車内では衛星の電波を受信しにくく更新が予測できず、安定した動作が困難となった。代替手段により実験を行う。
3. 予備実験では協力者が少ない。

予備実験においては簡易的に退屈の感情強度が閾値以上の状態を漫然状態とし、これを超えた回数を元に漫然状態の傾向を考察したが、閾値の定義は機械学習などで求めることが一般的であり、先行研究ではこの学習時間に 50 時間を要する事から、本研究では閾値を扱った議論は避け、退屈の感情値の平均値を運転手の普段の状態と定義し、その値以上なのか、以下なのかで議論するべきである。

対向車を意識せずに走行できるという経路に依存した原因の他に、取り締まりによる渋滞や日が差し込んだことによる車内の温度によって退屈の感情が観測されていた。走行経路の特徴以外にも要因として含まれる要素は非常に多いと考えられるので、渋

滞状況や車内の温度など要因となる他の要素を考慮する。

4. 実験

4.1 概要

本実験では 4 つの漫然状態の推定手法の比較評価と漫然運転の要因調査を行った。比較評価は適合率、再現率、R 値で総合的な予測システムとして評価する。要因の調査は最も有用な予測システム（推定手法）と結論付けられた推定手法を目的変数とし、要因を 2 群に分け t 検定を行い、目的変数に有意な差がみられた場合は漫然運転の要因であるとする。

4.2 HF の最大値の算出

HF の最大値の算出では、サンプリングバッファサイズを 64、サンプリングレートを 1 に指定し、ハン窓の窓関数を指定して FFT 解析を行った。周波数帯域ごとにパワースペクトルを算出し、3 次スプライン補完で線形のグラフを描画した（図 10）、このグラフの緑色の領域である HF 成分（1.5Hz ~ 4.0Hz）の最大のパワースペクトルを HF の最大値と定義した。図 9 に開発したツールの表示結果を示す。

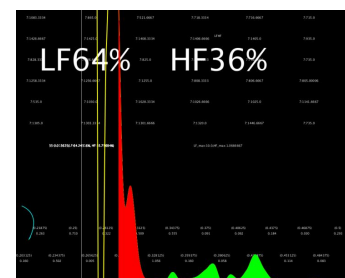


図 10 心拍間隔の周波数解析したパワースペクトル

4.3 漫然運転の要因情報の収集

実験協力者は健康な 20 代男性 10 名で行った。運転中の振動でのデバイス不良、センサが誤検知することが原因であると考えられるプログラム内で定義していない型の変数によるエラー等で、RRI データ、脳波データがそれぞれ 1 名、不快指数は 3 名がエラーとなったがそれ以外のデータ全て取得できた。ことから、本データを対象に分析を行うものとした。

4.4 主観評価

生体情報の他に、本人の主観評価と、緊張度と退屈度を 11 段階評価で 5 分おきに口頭にて評価してもらった。0 が「全く感じない」、5 が「普通」、10 が「とてもそう感じる」というよう指標について実験協力者に図 29 を使い、説明した。実験での経路は 1 周おおよそ 10 分なので 1 周あたり 2 回の評価している。安全運転に支障が出ないように信号での停車中などに行った。

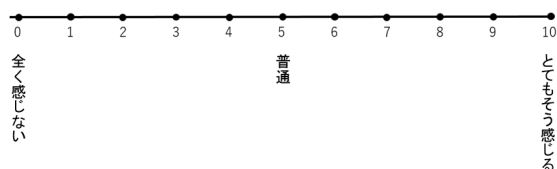


図 11 主観評価の説明に用いた資料

4.5 実験装置の改良

予備実験では、右手人差し指に心拍センサを取り付けていたので、ノイズの発生を抑えるためにステアリングの際に指を立てて操舵してもらっていたが、心拍センサを耳たぶに装着するイヤークリップ式に改良することで、実験協力者の負担を軽減した。また、使用感について実験協力者に質問すると、「装着した瞬間は気がしたが、運転に集中すると全く気にならなかった。」との意見があった。

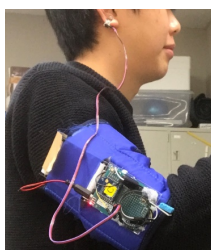


図 12 改良した心拍センサを装着した様子

4.6 実験環境

本実験は公道で運転をすることから、第一に安全に配慮することとした。被験者は健康な 20 代男性 10 名、実験時の天候は晴れもしくは曇りとし、時間帯は実験協力が昼食を済ませた 12 時~16 時に行いヘッドライトを付けずに走行できる時間帯とした。実験手順は予備実験と同一であり、走行経路は予備実験で走行した経路を採用した。車種は整備の行き届いた AT のコンパクトカーに限定した。実験協力者の意思による車内空調の変更は自由なものとした。健康管理チェックシートで健康状態を確認したうえで、実験中に具合が悪くなった場合はすぐに申告するように促した。

4.7 結果と考察

4.7.1 HF の最大値と提案手法の適合率と再現率による比較評価

「HF の最大値」、「提案手法」、「脳波の覚醒度」、「pNN50」の 4 つを比較対象として行った。まず、「退屈度」の主観評価で、5 と回答した時間帯を「平常時」と定義し、特に 6~10 と回答した時間帯は実験協力者が漫然状態であったと定義（適合データ）とした。

これに対して、4 つそれぞれの指標で平常時と漫然状態の定義に用いた。図 13 の黒い枠で覆われた領域は HF の最大値が変化した範囲である。この図 13 が

示すように個人差が大きく全員のデータを統一した値で評価するのは不適と考えた。よって個人ごとの平均値を閾値とし、平均未満を漫然状態と定義した。

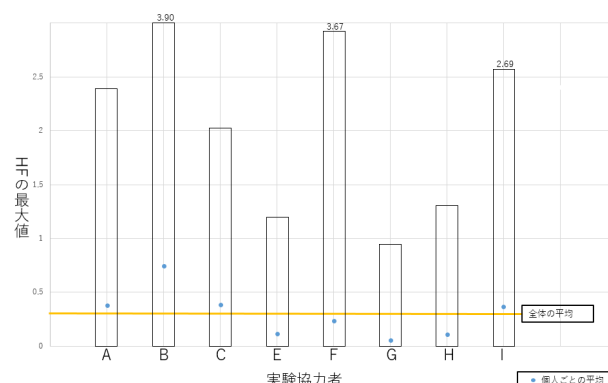


図 13 HF の最大値(個人、全員の平均値)

これ以外の指標においては、個人差は小さく、平松らの先行研究[7]においても統一した値を基準として評価していることから、以降 8 人の平均値を閾値として定義する。定義した閾値と漫然状態を図 14 に示す。

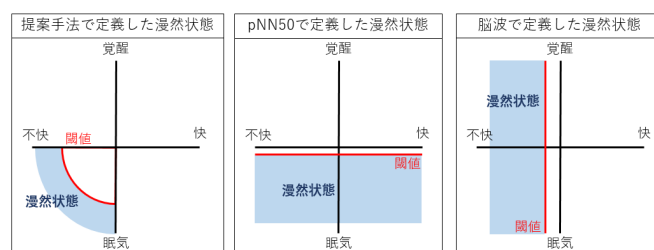


図 14 全員の平均値で定義した漫然状態

評価には適合率と再現率を用いた。適合率は「閾値未満の状態の内、主観評価での退屈度が 6~10 である割合」。再現率は主観評価での退屈度が 6~10 の時間の内で、閾値未満の状態である割合」を示す。

表 1 4 つの指標の評価結果

	HF の最大値	脳波	pNN50	提案手法
適合率	31.7	32.2	37.1	38
再現率	36.2	46.7	42.9	50.1
F 値	33.8	38.1	39.8	43.2

4 つの指標での適合率と再現率、この調和平均である F 値を表 1 に示した。提案手法が適合率、再現率、F 値のすべての評価において最も高い値を示した。ただし、値そのものの大きさ小さく、信頼性が十分とは言えない結果といえる。

4.7.2 要因ごとの漫然状態の評価

pNN50と脳波の計測結果を用いた提案手法が最も評価されていたことから「提案手法で定義した漫然状態」と「要因となる要素」でt検定を行い、漫然運転の要因となる調査を行った。

実験時に温度湿度センサの不良があり、不快指標は6人分のデータを扱った。ヒストグラムで示したように、実験中に観測したDIは最小値が45.01、最大値が75.12であったので、70以下の「寒くて不快と感じる領域」、70以上の「快適領域」の二つの群に分けt検定を行った(図15)。DI<70の群の方が退屈の感情値の平均値は低く、体感温度が低いと漫然状態は若干低くなる傾向があることが示された。

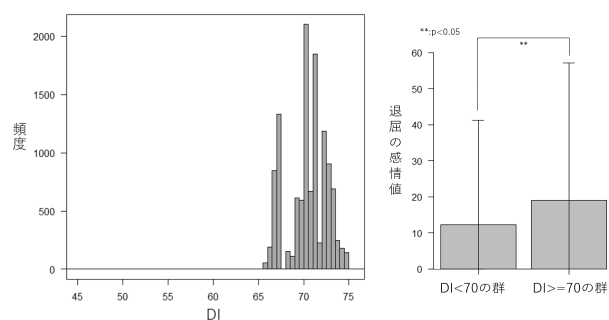


図15 DIのヒストグラム(左)
2群のDIと退屈の感情値のt検定(右)

4.7.3 渋滞と漫然状態

本分析では、9人分のデータを用いて調査を行った。一般的に渋滞時は運転操作が単調で漫然状態になりやすいことが知られている。国家公安委員会では20km/h以下を混雑・渋滞の指標としている[16]ことから、「20km/h以下で走行中の退屈の感情値」と「20km/hより早い速度で走行中の退屈の感情値」の2群でt検定を行った(図16)。2群の差には有意差があり、速度の遅い(混雑・渋滞・停車)時の方が退屈の感情値の平均値が若干高く、停車中及び低速での走行は退屈になる傾向があることが示された。

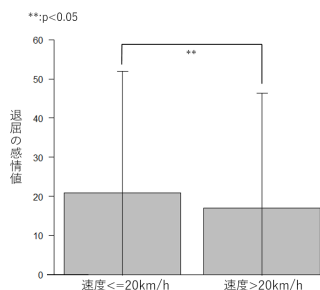


図16 速度の速度帯と退屈の感情値のt検定

4.7.3 特定の地点での漫然状態

本分析では不良データを除く9人分のデータを用い

て調査を行った。橋の上や交差点、坂道など経路上の特定の地点での退屈度を分析することで、経路上の地点の特徴に応じた漫然傾向が存在するのか調査する。特徴がある地点として以下の地点を候補とし、「退屈の感情値」を目的変数とし「ある地点以外とそれ以外の地点」を比較する群としてt検定を行い、有意差がみられた地点を対象にどのような関係があるか考察を述べる。

候補とした地点

- 1) 橋の上：晴海橋、春海橋
- 2) 傾斜を上る加速：晴海橋傾斜部A、春海橋傾斜部A
- 3) 傾斜を下る減速：晴海橋傾斜部B、春海橋傾斜部B
- 4) 右折：豊洲駅交差点、新豊洲駅交差点、晴海三丁目交差点、日本ユニシス前交差点



図17 分析の候補とした地点

それぞれt検定した結果で有意差がみられた結果を図18に示した。t検定の結果、 $p < 0.05$ 有意差がみられたのは、「晴海橋傾斜部A」「晴海橋傾斜部B」「新豊洲駅交差点」「晴海三丁目交差点」の4か所である。晴海橋傾斜部Aと新豊洲駅交差点は連続した区間であり、右折後は見通しの良い直線区間であり、前方に車が存在せず、上り坂になっていることからアクセルを安心して踏み込むことができると言える。このことから注意力が欠如し、退屈の感情値が観測されやすかったのではないかと考察できる。

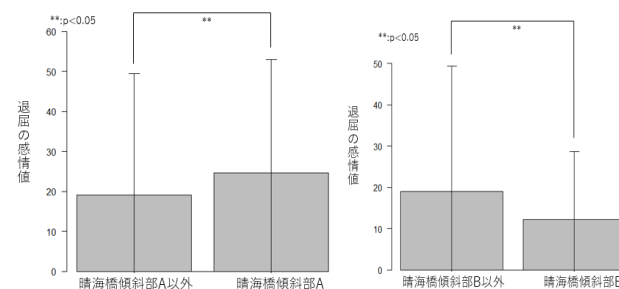


図18 晴海橋傾斜部Aとその他の地点(左), 晴海橋傾斜部B

とその他の地点(右)

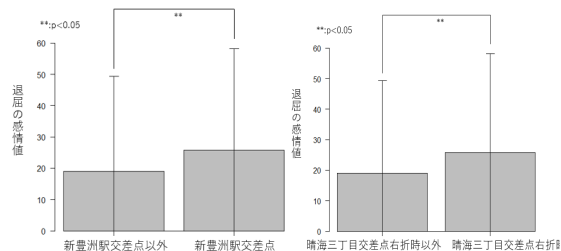


図 19 新豊洲駅交差点とその他の地点(左), 春海三丁目交差点とその他の地点(右)

晴海橋傾斜部 B と晴海三丁目交差点も連続した区間であり、首都高速との合流点であり特殊な車線構造であることと、合流点侵入後に車線変更を 3 度も行う必要があること、以上に注意しながら下り坂でスピードを抑えながら運転しなければならない、比較的複雑な操作を必要とする事から退屈の感情値が低くなる傾向がみられたと考えられる。

位置情報から特定の地点を定義する方法は以下の図 20 に示しように、新豊洲駅交差点を例とすると「35.648133<緯度<35.648405 かつ 139.789271<経度<139.789557 の領域」を「新豊洲駅交差点を右折」した地点として定義している。

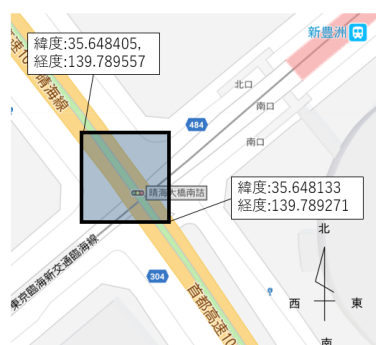


図 20 位置情報からの場所の定義例

4.7.4 精神的疲労度と漫然状態

9 人分データを用いて解析を行う。実験協力者の精神的疲労度と肉体的疲労度を健康管理チェックシートにて点数化し、A, B, C の点数が危険ゾーンの協力者は実験を中止するものとした。その結果、肉体的疲労度は全協力者が安全ゾーンであり、精神的疲労度が要注意の協力者が 1 名、他の協力者は安全ゾーンであった。本調査項目は協力者を健康状態ごとに群分けすることを目的としていたが、極端に安全ゾーンの協力者が多くなってしまった。「精神的疲労度が要注意ゾーンの実験協力者 E」と「その他の被験者」で群分けを行い、「目的変数を退屈の感情度」と定めて t 検定を行った(図 20)。

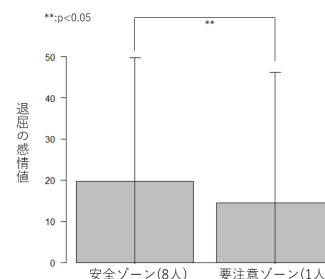


図 20 精神的疲労度で群別した t 検定

4.7.5 安全運転能力と漫然状態の分散分析

退屈の感情値における安全運転能力検定の点数の影響を分析するために分散分析を行った。問題数は全 20 問で、正解した問題数を得点とした。実験協力者の得点ごとに群に分け、退屈の感情値を目的変数とした一元配置の分散分析を行った。Tukey 法を用いた多重比較によれば 95%の信頼区間で 0 を含まないことから、点数群の効果は有意であった ($p < .005$)。それぞれの群の退屈の感情の平均値を図 21 に示す。9 点の実験協力者(2 名)は退屈の感情値の平均値は高く、安全意識が低いと漫然になりやすい傾向が示されたが、他の得点群では、15 点の被験者を中心とし、退屈の感情の平均値が高くなる傾向がみられた。

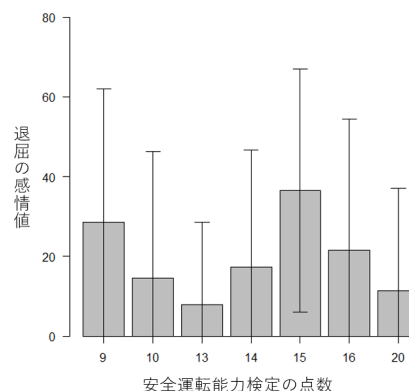


図 21 安全運転能力検定の点数を分散分析

4.7.6 個人ごとの退屈の感情値

観測された退屈の感情値の平均値に大きな差はなかったが、出現頻度や出現パターンに個人差がみられた。実験協力者 A, B, J は他の実験協力者に比べて比較的退屈の感情値の出現頻度が低かった。この 3 名の内 2 名は普段全く運転せず、半年以上運転経験がなかったため、緊張したことから出現頻度が低かったのではないかと考えられる。また実験協力者 F, G, H では、徐々に漫然になっていく様子が見れるが、他の実験協力者では急に高い退屈の感情値を観測している。これは覚醒度が低いまま第三象限と第四象限を行き来している。もしくは、快適度が低いまま第二象限と第三象限を行き来していることが原因と考えられる。

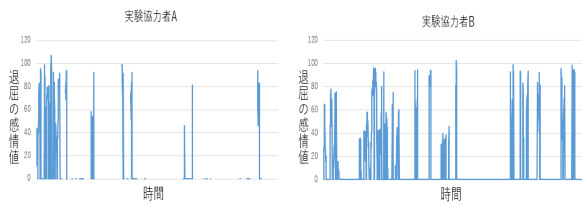


図 22 実験協力者 A の退屈の感情値(左), 実験協力者 B の退屈の感情値(右)

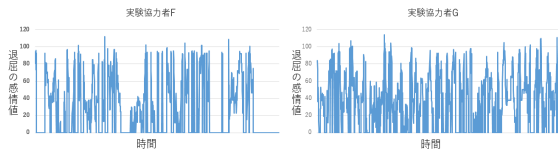


図 23 実験協力者 F の退屈の感情値(左), 実験協力者 G の退屈の感情値(右)

5. 議論

まず、指標の評価方法についての課題について述べる。提案した退屈の感情値による漫然状態推定手法が最も性能が良いという結論に至ったが、計測における精度に課題がある。これは正解データとした主観評価は 5 分おきに解答するものであり、5 分よりも小さいスケールでの変化は表せない。また、この方法は個人ごとに評価にずれがあり良い正解データとは言えない。本研究では複数の漫然状態推定指標の比較評価を行うために、この様な方法を用いたが、正規化して比較する方法を検討する必要がある。また、指標についても、HF の最大値の比較として、心拍変動値を用いたが、スペクトラム解析した値を比較値として用いるべきであった。

また、要因の調査については、今回調査した要因の内、位置情報（特定の地点）と健康管理チェックシート、安全運転能力検定については、有意な差がみられたが調査方法として課題を残す結果であった。位置情報については坂、交差点での平均値の差を検定したが、考察にも述べたように「坂であるから」、「交差点であるから」ではなく、「前方に車両がなく見通しの良い直線でアクセルを踏み込むことができる」、「特殊な車線構造で 2 車線変更しなければならない」といった運転手の「行動」や「心理」につながるものと有意な差が出やすい傾向にあったと考えられるので、要因の調査を行うには運転手の気持ちになり、「何故橋の上だと緊張するのか?」、「何故渋滞すると退屈なのか?」根本的な要因をよく考え、本質的な要因をデータ化することを検討する必要がある。また、健康管理チェックシートも健康状態をさらに細かく群分けするような評価方法を用いて、詳細な要因を調査するべきである。安全運転能力検定では、得点が 9 点の被験者群は退屈の感情値比較

的高くなりやすいことが、が示されたが、被験者ごとにばらつきが多くみられた。本研究において実験協力者ごとの運転習熟度や運転に対する苦手意識などは考慮していなかったが、これが原因と思われる「退屈の感情値」の出現頻度の差がみられたので、今後は要因として分析すべきである。

6. 今後の課題とまとめ

本研究では、先行研究で用いられた「HF の最大値による漫然状態推定手法」と「脳波から漫然状態を推定する手法」と、「心拍から漫然状態を推定する手法」、「脳波と脈拍の両方から導いた退屈の感情値から漫然状態を推定する手法」の比較検証を行った。その結果、提案手法で用いた退屈の感情値の推定手法の時、適合率、再現率、F 値において評価が高い結果となった。また漫然状態の要因になる可能性を持つ要素として「速度」、「位置情報」、「不快指数」、「健康状態」、「安全運転能力」を記録し、との関係について分析を行った。本提案手法を元に要因の調査を行ったところ、「不快指数」と「車両の速度」は退屈の感情値を有意な差を示し、漫然運転の要因の 1 つである事が示唆された。今後は議論に示した課題などを考慮して研究を改善してゆきたい。

謝辞 本研究は、株式会社神奈中情報システムの米山仁様、岡田明帆様、神奈川中央交通株式会社の秋澤忠様にアドバイスをいただき実現いたしました。心より感謝申し上げます。FEElythm の開発の過程や論文にはない大変貴重なご意見を賜りました。山添正英様、楠山倫生様、村上剛基様に、厚く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 警視庁交通局. “平成 29 年中の交通事故の発生件数”. 政府の窓口統計.p19. 2018-5-4
- [2]<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datatable&toukei=00130002&tstat=000001027457&cycle=7&year=20170&month=0>
- [3] 米山仁. “神奈川中央交通平塚営業所でのインタビュー”. (2018/5/23)
- [4] 中野泰彦, 他. “ドライバの覚醒度検知技術”. Fujitu 59(4), p.416-420
- [5] 中野泰彦, 他. “心拍センサを用いた大型トラック運転中の覚醒度評価”. 自動車技術会論文集, 2005 年, 46 巻, 3 号, p.679-685
- [6] 佐野聡, 中野泰彦, 他. “心拍センサを用いた大型トラック運転中の覚醒度評価”. 情報処理学会, マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, p.24-29
- [7] 柳平雅俊, 安土光男. “運転状態推定技術の開発-心拍解析による眠気状態の検出”.
- [8]http://global.pioneer/en/crdl_design/crdl/rd/pdf/14-3-3.pdf, (2018-7-26).
- [9] 平松拓也. “ステージ構成支援のための生体情報による感情分類手法”. 卒業論文概要集. 芝浦工業大学, 2016, 第 38 号, p.

131-132

- [10]James A. Russell. A circumplex model of affect. it Journal of Personality and Social Psychology, Vol.39, No.6, 1980, pp.1161-1178
- [11]Katie Crowley, Aidan Sliney, Ian Pitt, Dave Murphy. “Evaluating a Brain-Computer Interface to Categorise Human Emotional Response”. IEEE. 2010, pp.276-278
- [12]Greeta U Navalayal, Rahul D Gavas. “A dynamic attention assessment and enhancement tool using computer graphics”. Human-centric Computing and Information Sciences, 2014, 4:11
- [13]Kimberly Chu, Chui Yin Wong“Player’s Attention and Meditation Level of Input Devices on Mobile Gaming”. i-USEr. 2014, pp.13-17
- [14]Discomfort index, Earl Crabill Thom, 1957
- [15]不快指数,久川太郎流通経済論集 3(1), 87-99, 1968-05,流通経済大学
- [16]部科学省. “生活者ニーズ対応研究 疲労および疲労感の分子・神経メカニズムの解明とその防御に関する研究報告書”(一部抜粋). 慢性疲労症候群に対する治療法の確立,③疲労病態を早期に自覚するための自己診断チェックリストの開発と評価系の検証. 関西福祉科学大学倉恒弘彦(監修)
- [17] 社団法人安全運転推進協会. “安全運転能力検定概要”. <http://safe-driving.or.jp/guide/> (2019/1/21)
- [18] 国家公安委員会. 告示,第 12 号
- [19] 日本人間工学会 PIE 研究部会編, 監修 三宅晋司, 商品開発・評価のための生体計測とデータ解析ノウハウ～整理指標の特徴, 測り方, 実験計画, データの解釈・評価方法～, エヌ・ティー・エス, 2017 年.

	安全ゾーン	要注意ゾーン	危険ゾーン
身体的評価	男性 0 ～ 7	男性 8 ～ 11	男性 12 以上
(A の得点)	女性 0 ～ 8	女性 9 ～ 13	女性 14 以上
精神的評価	男性 0 ～ 9	男性 10 ～ 12	男性 13 以上
(B の得点)	女性 0 ～ 10	女性 11 ～ 15	女性 16 以上
総合評価	男性 0 ～ 16	男性 17 ～ 22	男性 23 以上
(A + B の得点)	女性 0 ～ 19	女性 20 ～ 28	女性 29 以上

付録

チェック項目	全くない	少しある	まあまあある	かなりある	非常に強い	点数記入欄	
微熱がある	0	1	2	3	4	()	
思考力が低下している	0	1	2	3	4	()	
疲れた感じ, だるい感じがある	0	1	2	3	4	()	
よく眠れない	0	1	2	3	4	()	
ちょっとした運動や作業でもすぐ疲れる	0	1	2	3	4	()	
ゆううつな気分になる	0	1	2	3	4	()	
筋肉痛がある	0	1	2	3	4	()	
自分の体調に不安がある	0	1	2	3	4	()	
働く意欲がわきない	0	1	2	3	4	()	
ちょっとしたことが思い出せない	0	1	2	3	4	()	
このごろ体に力が入らない	0	1	2	3	4	()	
リンパ節が腫れている	0	1	2	3	4	()	
まぶしくて目がくらむことがある	0	1	2	3	4	()	
閉塞感, 頭重感がある	0	1	2	3	4	()	
ぼーっとすることがある	0	1	2	3	4	()	
一晩寝ても疲れがとれない	0	1	2	3	4	()	
集中力が低下している	0	1	2	3	4	()	
のどの痛みがある	0	1	2	3	4	()	
どうしても寝すぎてしまう	0	1	2	3	4	()	
関節が痛む	0	1	2	3	4	()	
合計A,						B,	
総計(A+B)							

図 21 健康状態チェックシート

表 3 健康管理チェックシートの判定結果