

眠気をもたらすドライバ姿勢の崩れの考察 及び着座接触圧に基づく検証

○楊明達 伊藤誠 (筑波大学)

Investigation of Driver Postural Change Caused by Drowsiness Based on Pressure Distribution Sensors

Abstract— In this study, we try to address the problem of drowsy driving in the perspective of driver postural changes. Based on physiological pieces of evidence, we develop hypotheses of driver postural changes caused by drowsiness. A driving simulator experiment is conducted to verify predicted pressure changes in the hypothesis and extract pressure indices which are highly correlated to drowsiness level. Finally, we use a support vector machine to recognize drowsiness level both in 5-levels and 2-levels. The results show high recall rates and multi-usability.

Key Words: Driver monitoring, Pressure Distribution, Support vector machine

1 はじめに

近年、自動車安全技術の進歩に伴い、交通事故死者数も年々減少している。しかし、平成 29 年法令違反別交通事故死亡事故件数では、漫然運転が依然として最も大きな割合を占め、年間 600 件近く発生している¹⁾。特にドライバの覚醒度低下、いわゆる居眠り運転に対して、関連研究が盛んであるにも関わらず、信頼性の高い、実用化に向けた防止手法はまだ確立されていない。

本研究は、眠気をもたらすドライバの姿勢の崩れに注目して、眠気の検出手法を検討する。特に、眠気の深まりに応じてどのような崩れ方が考えられるか、生理学の知見から仮説を構築する。その姿勢の崩れが着座接触圧にいかに関与するかを予測する。そして、ドライビングシミュレータ実験²⁾で得られた眠気に伴った実際の着座接触圧を記録し、仮説と対照して検証する。最後に得られた知見に基づいて、眠気の推測手法を提案する。

2 眠気と姿勢

2.1 眠気の定義

眠気は日常的に多発する生理現象でもあるが、どの時点からどの時点までが眠気か、具体的な定義が曖昧である。北島らは、比較的抽象的な定義として、「かろうじて覚醒している状態から興奮状態までの段階を覚醒水準とし、その覚醒水準の中度から入眠に至るまでのマイナス方向を眠気」と論じている³⁾。本研究では、北島らが提案した顔表情評定による眠気レベルを、眠気の定義として使用する(Table 1)。

Table 1 Drowsiness Scale

| | |
|-----------------------|---|
| 評定値=1 全く眠くなさ そう | 視線の移動が速く、頻発である 瞬きの周期は安定している 動きが活発で身体の動きを伴う |
| 評定値=2 やや眠そう | 視線移動の動きが遅い 唇が開いている |
| 評定値=3 眠そう | 瞬きはゆっくりと頻発する 口の動きがある 座り直し有り、顔に手をやる |
| 評定値=4 かなり 眠そう | 意識的と思われる瞬きがある 肩の上下動など 無用な身体全体の動きあり あくびは頻発し、 深い深呼吸もみられる 瞬きも視線の動きも遅い |
| 評定値=5 非常に眠い | 瞼を閉じる、頭が前に傾く 頭が後ろに倒れる |

2.2 眠気に伴う生理変化

眠気に伴う生理変化、特にドライバの姿勢に関わる生理変化について、筋肉活動が重要な一つである。Akin et al. は⁴⁾、覚醒から入眠するまで、顎の筋肉の EMG(筋電図)信号を記録した結果、筋緊張がハイレベルから低下していくことを確認している。これは、人々が生活の中に体験していた眠気による筋肉の弛緩にも裏付けられる。

また、長時間な睡眠遮断により、ヒトの重心動揺が増加することが確認されている⁵⁾。本研究は、重心の動揺を姿勢の崩れの要因の一つとして考えている。重心の動揺が一定範囲内に収める場合、ドライバは姿勢の安定性を保つことができるが、重心動揺がひどくなった場合、ドライバの姿勢が一気に激変し、崩れていく可能性が高いと考えている。

2.3 ヒトの姿勢維持

運転姿勢では、ドライバの足はペダル操作を行うため、普通の座位姿勢のより身体の安定性を支持することが難しくなっている。また、運転に必要な広い視野を確保し、ハンドルや車載機器に手がすぐ届ことができるようにするため、ドライバは同じ姿勢を長時間に維持しなければならない。それゆえ、持続的な筋緊張と筋疲労が起こっていると既存研究により報告されている⁶⁾。つまり、運転姿勢は普通の座位姿勢より安定性の確保手段が欠如しており、長時間に保つにくい姿勢である。さらに眠気の影響を加えると、崩れる可能性が十分に高いと考えられる。

姿勢維持は、二つの方面、抗重力機能と体平衡制御から論じることができる。重力を抗いながら様々な姿勢や動作を維持するには、関節、靭帯、筋肉における骨の間の受動的な力以外、能動的な筋緊張も必要不可欠である⁷⁾。その役割を果たすのは、頸部伸筋群、脊柱起立筋群などが挙げられる。体平衡制御について、バイオメカニクスの分野では、ヒトの立位姿勢を一つの倒立振り子とされている。ヒトの比較的に高い体重中心に対して、体重の支持基底がわずかであるため、重心は本質的に不安定である⁷⁾。

3 姿勢の崩れの仮説

ドライバの姿勢がどのように崩れていくか、本章は、位置のバイアス、体勢の変化、動き、重心の動揺四つの観点から仮説を構築する。それぞれに生理学な根拠を示し、着座接触圧に反映する変化を予測する。

3.1 位置のバイアス

3.1.1 眠気をもたらす位置のバイアス

眠気が原因とした抗重力筋の弛緩、加えて、体平衡の制御能力の低下より、ドライバが背もたれか車のドアかにくっつき、身体全体がドライビングシートの中心位置から離れる可能性が考えられる。

この場合、ドライバの体格と癖の個人差によってどの方向に離れるかを予測するのが難しいが、離れる偏差値の大きさは検討可能といえる。そこで、着座接触圧に以下の変化が生じることを予測する：座面荷重中心と背面荷重中心が眠気の深まりと伴って、左右どちら方向への偏差値が増加する。座面荷重中心と背面荷重中心の計算式は以下に示す：

$$\bar{x} = \frac{\sum c_i x_i}{\sum c_i}, i = 1, 2, \dots, n$$

\bar{x} が一つの方向（上下方向あるいは左右方向）の荷重中心、 x_i が座面（あるいは背面）にあるセンサーの座標値、 c_i がセンサーそれぞれの圧力出力値である。 i はセンサーの番号、 n はセンサーの数量を示す。

3.1.2 意識的に眠気を抗う動きによる位置バイアス

ドライバが眠気の発生を意識している場合、眠気を払うために動き出す可能性がある。それによって位置のバイアスが生じて、眠気を示す兆候になる可能性がある。ドライバが意識的に動き出すと、動きの幅が比

較的大きいと考えている。よって、本研究では、ある程度の閾値を超えた重心変動を分析対象とし、その変動の頻度が、眠気と伴って増加することを予測する。

3.2 体勢の変化

運転をこなせるために長時間な姿勢維持が必要となる。しかし、眠気によって、ドライバの能動的な筋制御が弱くなり、姿勢維持に必要な筋緊張が保てなくなる可能性がある。Jagannath et al.は、被験者を60分間単調な高速道路で走行させるシミュレータ実験を行った結果、背部の僧帽筋、広背筋、脊柱起立筋群に顕著な疲労を確認している⁸⁾。また、正常な運転姿勢より楽な姿勢を求めめるために、ヒトは筋活動を抑える傾向があると考えられる。そこで、姿勢の崩れが発生しうる。

3.2.1 猫背

猫背というのは、人間の背中が丸く内側へ反るようになるさまを指している(Fig.1)。猫背の原因は二つ考えられる。

- 脊柱起立筋群と頸部伸筋群が眠気によって筋緊張が低下し、本来果たしていた前方へかかる力を引っ張る役割ができなくなる。
- 筋疲労の発生によりドライバが主体的に姿勢を変える。



Fig.1 Posture of learning forward.

猫背に伴う着座接触圧の変化については以下に予測する。

- 肩の部分が徐々にドライビングシートの背面から離れていき、背面へかかる圧力の中心が下へ遷移する
- 全体的に上半身が背面から離れていき、背面へかかる圧力が下降する
- 体重の支持が座面が変わっていき、座面の平均圧力が上昇する

3.2.2 背もたれにくっつく

眠気によって、抗重力筋が弛緩していくが、必ずしも前へ傾くばかりではない。もう一つの可能性として、ドライバが背もたれにくっつくことが考えられる(Fig.2)。この体勢の原因について、筋疲労を和らげるモチベーションが考えられる。



Fig.2 Posture of learning backward.

背もたれにくっつく体勢にあたって圧力の変化は以下の二つが考えられる。

- 背面の圧力重心が上へ移す.
- 背面の平均圧力が上昇する

背が完全に背もたれにくつくと、肩の部分が背もたれに接触し、全体的に背面の圧力中心が上へ移す可能性がある。また、同じ原因で、背面の平均圧力の上昇も考えられる。

3.3 動き

主要な抗重力筋として働く頸部伸筋群は、頭部を引っかかっている。眠気に伴う筋肉の弛緩が加えると、筋緊張が低下し、ある時点で引っかかることができなくなって、頭が突然に前へ傾くことが考えられる。いわゆる「こっくりする」動きである。

圧力変化の仮説として、背面の重心の上下方向の変化が、ある範囲内に収まったことを「こっくり」と捉えて良いと考えている。範囲を設置する原因は、ドライバが通常運転する時の動きと身体の無意識な動きと区別することである。こういった動きが、眠気の深まりに伴ってある程度の関連性があると予測する。

4 実験

清田の研究²⁾において行った実験について紹介する。本実験の目的は、居眠り運転に伴うドライバの着座接触圧を収集することである。実験はドライビングシミュレータを用いて行われ、着座接触圧の測定とビデオ撮影を行う。ドライビングシミュレータの様子をFig.3に示す。



Fig.3 Driving simulator

ドライバの動きを把握するため、背面に10点、座面に8点のセンサーをドライビングシートに組み込んだ。眠気を誘発するため、二つのコースをデザインした。Aコースは新東名高速道路をベースにし、Bコースはカーブが多い道路とした。被験者は、普通自動車免許を有する女性11名、男性9名を募集し、AとBコースにそれぞれ40分を走行させた。実験後は、ビデオ映像に基づき、北島の眠気スケール(Table 1)を用いて20秒ごとにドライバの眠気レベルを評定者に評定させた。なお、本実験は筑波大学システム情報系研究倫理委員会の承認を得て行っている。

5 データ分析

実験データに基づいて圧力変化の予測を検証する。検証は、眠気レベルと圧力変化指標のピアソン相関関数の計算によって行われる。2組の数値からなるデータ列 $\{(x_i, y_i)\} (i=1, 2, \dots, n)$ が与えられた時、ピアソンの相関係数の計算式は、以下に示すとおりである：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left(\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right) \right)^{1/2}}$$

\bar{x} , \bar{y} は $x = \{x_i\}$, $y = \{y_i\}$ の相加平均である。

Fig. 5-Fig.12に圧力変化の予測の検証結果を示す。

5.1 左右方向の座面圧力重心

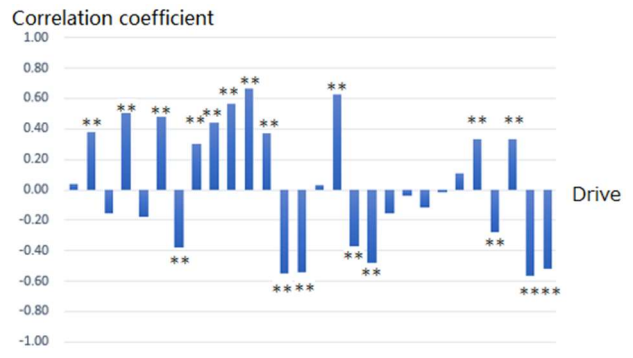


Fig.5 Correlation coefficients of horizontal center of seat pressure

Fig. 5の横軸は各走行、縦軸はピアソン相関関数を示す。p値が0.05未満を統計的に有意とみなした。

左右方向の座面圧力重心の結果では、有意性がなかった走行が9走行、弱相関が8走行、中相関が11走行となった。中相関があった場合、正の相関が6走行、負の相関が5走行となった。なお、本実験では、左右方向の圧力重心の増加がドライバから見て左へ傾くことになっている。

相関関数の値は、完全な線形相関の程度を示している。しかし、相関関数の値はそれほど大きくないが、線形ではない相関性が見られる可能性がある。Fig.6では具体的な一つの走行の相関関係を示す。実際、目標変数(左右方向の座面圧力重心値)の平方根と眠気レベルのピアソン相関関数を計算した結果、いずれの走行も、小さな相関値の上昇が見られた(0.05前後)。よって、本研究は、左右方向の圧力重心値の平方根を後の識別に用いることとした。

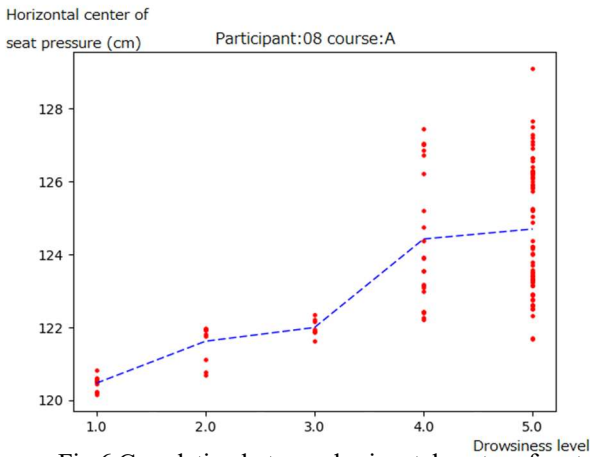


Fig.6 Correlation between horizontal center of seat pressure and drowsiness level of participant 08, course A

5.2 左右方向の背面圧力重心

左右方向の背面圧力重心では、相関の有意性がなかった走行が11走行、弱相関が8走行、中相関が9走行、強相関が2走行となった。中強相関に達した場合、正の相関が3走行、負の相関が6走行となった。この結果から、ある程度の相関性がみられ、識別に用いる指標として可能であると判断した。結果は、Fig.7に示す。

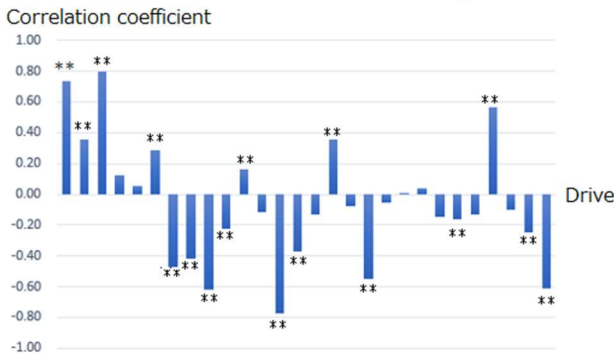


Fig.7 Correlation coefficients of horizontal center of back pressure

5.3 ある程度以上の重心変動

ドライバが眠気を自覚しており、眠気を払うため主体的に動き出した場合、ある程度の重心変動が現れると予測した。このような重心変動の頻度と、眠気の深まりの相関関係について検証する。今回設定した重心変動の閾値は、10mmとなっている。また、ドライバが意識的に取る動きは、数秒間、数十秒間に一回生じるため、サンプル数が低い。そのため、一つの走行の相関関係を調べるより、全走行のデータを合わせて見たほうが適切だと考えている。結果は、Fig.8に示す。

結果を見ると、眠気レベル4以下では明らかな正の相関が見られた。眠気レベル5に達したあと一気に減少した原因として、眠気レベルがかなり深くなると、身体の運動が止まることになる可能性が考える。よって、

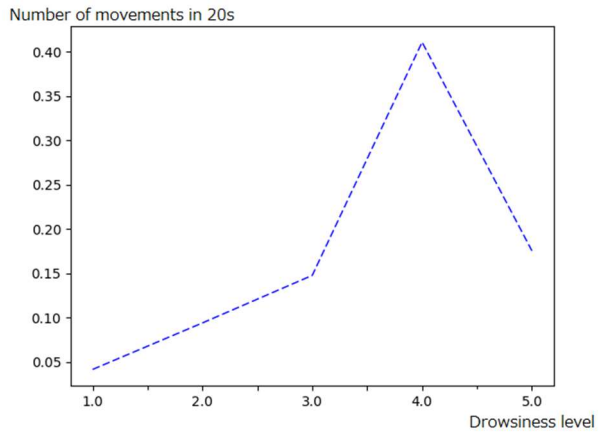


Fig.8 Number of center of gravity changes in 20s

10mmを超えた重心変動の頻度の有効性が認められ、識別に用いるとする。

5.4 上下方向の背面圧力重心

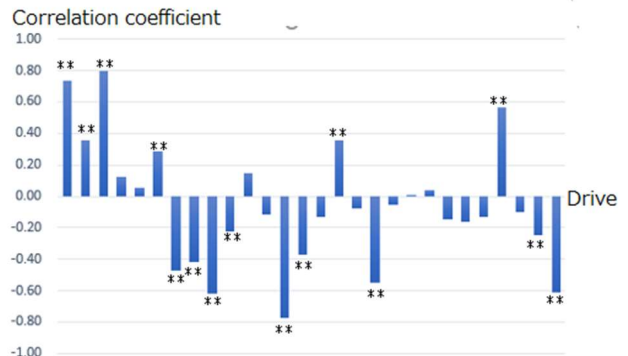


Fig.9 Correlation coefficients of vertical center of back pressure

Fig.9の結果を見ると、有意性がなかった走行が13走行、弱相関が6走行、中相関が6走行、強走行が3走行となっている。中高程度相関があった場合、正の相関が3走行、負の相関が6走行となっている。相関関係が逆となっているため、識別に用いなかった。

5.5 背面の平均圧力

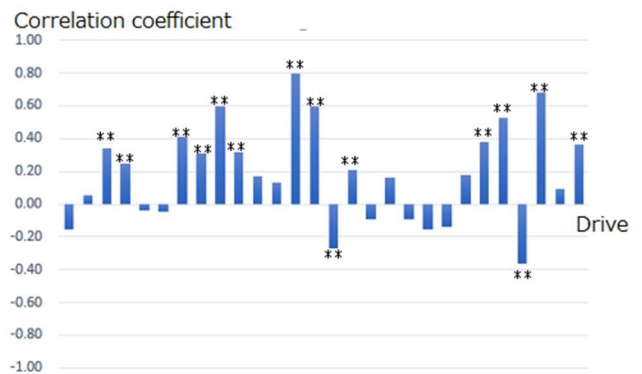


Fig.10 Correlation coefficients of back pressure

Fig.10の結果を見ると、有意性がなかった走行が13走行、弱相関が9走行、中相関が5走行、強走行が1走行となっている。中高程度相関があった場合、すべて正の相関(背面平均圧力が上昇)となっている。ある程度の相関性がみられ、識別に用いる指標として可能であると判断した。

5.6 座面の平均圧力

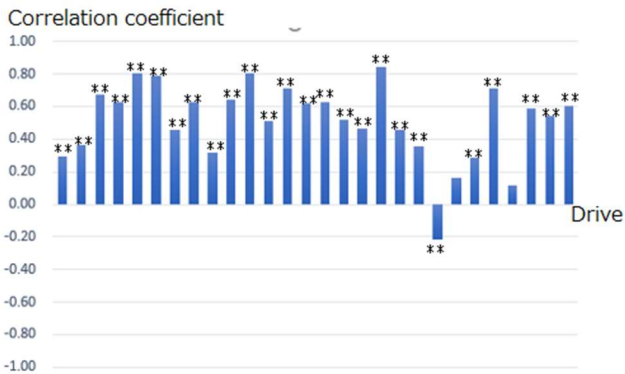


Fig.11 Correlation coefficients of seat pressure

Fig.11の結果を見ると、有意性がなかった走行が2走行、弱相関が6走行、中相関が14走行、強走行が6走行となっている。全体的に高い相関性が見られたとも考えられ、識別に用いた。

5.7 前へ頷く動き

ある範囲内に収める上下方向の背面圧力重心の差分を、前へ頷く動きに応じる圧力変化として捉える。今回の閾値は、2.54mm-10mmとしている。こういった圧力変化の頻度が、眠気の深まりに伴ってある程度の相関がみられると予測した。動きのサンプリング数が少ないため、全走行のデータをまとめて検討する。

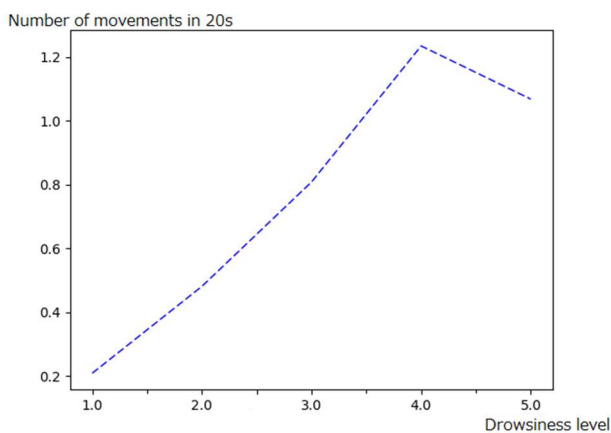


Fig.12 Number of nods in 20s

Fig.12の結果を見ると、眠気レベル4以下では明らかな正の相関が見られた。5.3と同じく、レベル5では下降が見られた。これも眠気レベルがかなり深くなると、身体の運動が止まることになる可能性が考える。よって、前へ頷く動きの頻度(2.54mm-10mmに収める背面上下方向の圧力重心の差分の頻度)は、識別に用いられると考える。

6 識別手法

本章では、5章の分析結果を基にして、着座接触圧から眠気レベルの識別を試みる。識別手法について、教師あり機械学習の手法の一つであるサポートベクターマシン(SVM)を用いる。眠気レベルとある程度の相関性が見られた指標を、SVMの特徴(Feature)として用いる。今回で用いたFeatureを以下に示す：

- 左右方向の座面圧力重心と中心位置の偏差値の絶対値
- 左右方向の背面圧力重心と中心位置の偏差値の絶対値
- 20秒間に重心変動が10mmを超えた回数
- 背面平均圧力
- 座面平均圧力
- 20秒間に上下方向の背面圧力重心の微分が2.54mm-10mmに収めたケースの回数

6.1 五段階眠気レベルの識別

識別の結果を混同行列(Confusion Matrix)で示す。Fig.13に識別結果のサンプリング数、Fig.14に識別結果の再現率(Recall rate)を示す。識別結果から見ると、眠気レベル1-5はそれぞれ66.8%、70.2%、60.6%、40.3%、57.5%の再現率を得た。五段階の眠気レベルでは、識別手法は有効であることを証明したと考えられる。

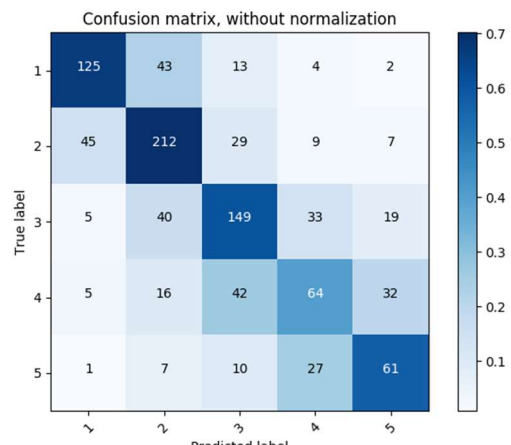


Fig.13 Result of 5-levels recognition of drowsiness level

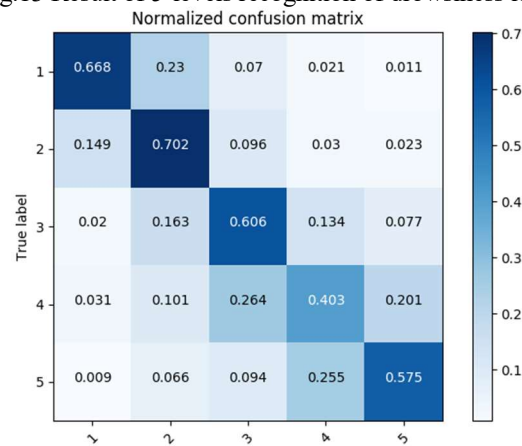


Fig.14 Recall rate of 5-levels recognition of drowsiness level

6.2 二段階眠気レベルの識別

眠気の発生が運転に影響を及ぼすかどうかを目的とした場合、居眠りレベルを五段階ずつ分類する必要がなく、二段階の「低/高」に分ければ十分である。実用性から考えると、五段階の検出ができなくても、眠気の低/高が高い精度で検出できれば、システムのドライバ支援にも重大な意味がある。よって、本研究は、二段階の検出精度も検証した。

北島の眠気レベルスケールの中で、レベル1と2を「低レベル」とし、レベル3,4,5を「高レベル」とした。レベル2と3の間に分ける理由は、レベル3の眠気では、「ゆっくりと瞬発する瞬き」(Table 1)が発生し始める。ここから眠気の影響でドライバの周囲環境への認知が明らかに低下し、事故に至る可能性が大きくなる。二段階識別の結果は以下に示す。

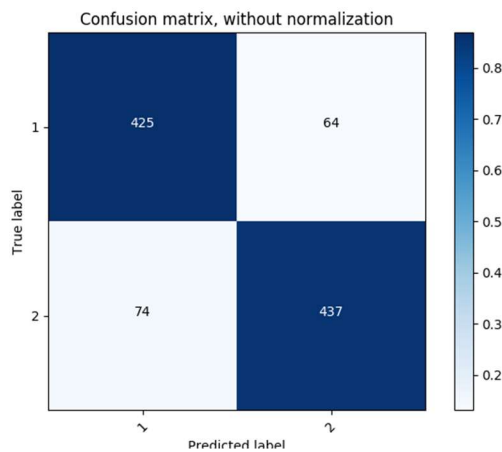


Fig.15 Result of 2-levels recognition of drowsiness level

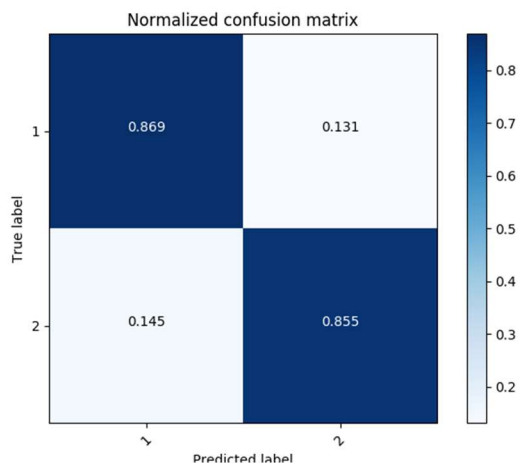


Fig.16 Recall rate of 2-levels recognition of drowsiness level

結果から見ると、低/高レベル共に、85%以上の再現率を得た。本研究で提案した手法が、眠気レベルの二段階分類に有効であると考えられる。なお、本手法は、同じく着座接触圧を用いてヒトの眠気を識別する既存研究と比べて⁹⁾¹⁰⁾、より多くの被験者に高い識別率を得られて、高い汎用性を示した。

7 結論と今後の課題

本研究は、ヒトの眠気生起に伴う生理学変化から、

ドライバの姿勢の崩れと着座接触圧に反映する圧力変化について仮説を構築した。ドライビングシミュレータ実験を行い、眠気に伴う圧力変化が仮説に合致するかどうかを検証した。眠気の深まりに関連性があった圧力変化の指標を抽出した。最後に、抽出した指標をサポートベクターマシンの特徴として使い、眠気レベルの認識手法を提案した。五段階の眠気レベルでは、それぞれ40%から70%の再現率を得た。低/高二段階の眠気レベルでは、85%以上の再現率を得た。提案した識別モデルは個人差にも対して高い汎用性を示した。

今後の課題について、抽出した特徴の詳細化、生理学知見から更なる検討及び各種機械学習手法の比較が挙げられる。

参考文献

- 1) 警視庁：平成29年中の交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況等について、(2018)
- 2) 清田昇吾：移動回数とドライバの低覚醒状態の相互関係の分析、筑波大学大学院システム情報工学研究科修士論文、(2018)
- 3) 北島洋樹, 沼田仲穂, 山本恵一, 五井美博：自動車運転時の眠気の予測手法についての研究：第1報、眠気表情の評定法と眠気変動の予測に有効な指標について、日本機械学会論文集 C 編, 63(613), 3059/3066 (1997)
- 4) Akin, M., Kurt, M. B., Sezgin, N., Bayram, M. : Estimating vigilance level by using EEG and EMG signals, Neural Computing and Applications, 17(3), 227/236 (2008)
- 5) 森柚樹, 木下史也, 高田宗樹：覚醒水準低下時における体平衡制御に関する研究, 日本衛生学雑誌, 73(1), 34/38 (2018)
- 6) Andreoni, G., Santambrogio, G. C., Rabuffetti, M., Pedotti, A. : Method for the analysis of posture and interface pressure of car drivers, Applied ergonomics 33(6), 511/522 (2002)
- 7) Ivanenko, Y. and V. S. Gurfinkel. : Human postural control, Frontiers in neuroscience, 12, 171 (2018)
- 8) Jagannath, M. and V. Balasubramanian : Assessment of early onset of driver fatigue using multimodal fatigue measures in a static simulator, Applied ergonomics 45(4), 1140/1147 (2014)
- 9) 宮崎陽平, 池田和章, 中島康祐, 伊藤雄一, 尾上孝雄：Sensechairを用いた眠気検出に関する検討, 情報処理学会、(2014)
- 10) 今井章博, 小栗宏次：シートからの座面圧力変化に基づくドライバの居眠り運転検知 (ITS 画像処理, 映像メディア, 視覚及び一般), 映像情報メディア学会技術報告, 35(9), (2011)