

SenseChair を用いた眠気検出に関する検討

宮崎陽平^{†1} 池田和章^{†1,†2} 中島康祐^{†1} 伊藤雄一^{†1} 尾上孝雄^{†1}

オフィスワーク環境でユーザに意識させることなくユーザの状態や状況をセンシングするために、座面下に 4 つの圧力センサを備え、非装着・非侵襲に座面の重心位置と重量を取得でき、ユーザの作業を阻害しないセンシングが可能であるオフィスチェア型デバイス SenseChair を実装し、検討を進めている。本稿では、SenseChair を用いた眠気取得手法について検討する。まず、着座中に睡眠したユーザから取得したデータに基づき、覚醒と睡眠の 2 状態を識別する手法について検討し識別可能性を評価した結果、参加者内で 76.9 % の平均識別率を得た。次に、睡眠に入るまでの眠気を 5 段階で識別することについても検討し、参加者内で 53.4 % の平均識別率を得たほか、眠気の客観評価の系列とシステムによる眠気識別結果の系列との順位相関係数が平均 0.75 となり、SenseChair による眠気検出の可能性を示した。

Sleepiness Detection using SenseChair

YOHEI MIYAZAKI^{†1} KAZUAKI IKEDA^{†1,†2}
KOSUKE NAKAJIMA^{†1} YUICH ITOH^{†1} TAKAO ONOYE^{†1}

In this paper, we propose a sleepiness detection technique for desk workers using a chair that can sense the sitting user's weight and his/her center of balance on the seat by 4 pressure sensors without mounting and invasion. We discussed about the manners to recognize 2 conditions; the user is awake or sleeping. We then conducted a personal experiment and obtained 76.9% of the recognition rate among six participants using Support Vector Machine. And we also discussed about the 5 conditions for sleep detection. We obtained 53.4% of the recognition rate and the average rank correlation coefficient between third party evaluations and system output values was 0.75. From the results, we showed the useful range of proposed detection technique.

1. はじめに

作業（ユーザ）の意図や現在の行動、置かれている状況を認識し、個々のユーザに合った適切な支援やサービスを提供しようとする試みとしてアンビエントインテリジェンスと呼ばれる技術がある[1]。この技術では、状況に応じて有効な情報を選択的にユーザに提供したり、情報提示のタイミングを制御することでユーザの集中を阻害しないようにしたりすることで、ユーザの作業効率や作業精度を高めることが可能となる。

着座した姿勢において行われる机上作業には、コンピュータ操作をはじめとして、筆記、読書、運転など様々な種類の作業があり、多くの人が日常的にこれらの作業をこなしているが、強い集中が必要であったり、長時間同じ姿勢を維持する必要があったりして、肉体的、精神的な様々な支援の必要性が高いと考えられる。例えば、継続的に机上作業を行う場合には、肩こりや目の疲れといった肉体的負荷や継続的な集中の維持による精神的負荷などがユーザの心身に影響すると考えられ、こうしたユーザの状況を認識できれば休憩を促すなど負荷を軽減するような支援も可能となる。

そこで我々は、机上作業で用いられる椅子に着目し、ユ

ーザの状態を椅子の座面にかかる重心と重量を測定することで認識できる SenseChair を提案し、これを用いた姿勢識別や人物識別について検討してきた[2, 3]。本稿ではさらにこれらを発展し、ユーザの睡眠、及び眠気の検出に向けた検討を行う。眠気はユーザの作業効率に影響を与えるだけでなく、運転をはじめとした危険を伴う作業の場合には致命的な事故を引き起こす要因となりうる。文献[4]によれば日中の過度な眠気が 15 % の人に認められ、平成 12 年度の保健福祉動向調査データを解析した報告[5]によれば、「眠ってはいけな時に起きていられない」症状の有症者が男性に 2.8 %、女性に 2.2 % いるとされる。また、眠気による作業効率の低下が原因で経済的損失が年間 3.5 兆円程度発生しているとする報告もあり¹、日中の睡眠や眠気は社会的に大きな問題であるといえる。本稿ではこうした問題の解決に向けて、SenseChair を用いて着座状態にあるユーザの睡眠検出、及び眠気検出手法を検討し、これを評価する。

2. 関連研究

2.1 ユーザの睡眠状況の取得手法

睡眠状況の取得を手法として、主に脳波、脈波、カメラ画像、体動を用いてユーザをセンシングするシステムが提案されている。

脳波を用いた睡眠の取得では、脳波計を装着し時系列データを周波数解析して調べる手法が一般的である[6, 7, 8]。

^{†1} 大阪大学 大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

^{†2} 現在、株式会社ブリヂストン
Bridgestone corporation

¹ <http://www.nu-press.net/archives/article000256.html>

兼弘らは、眠気誘発時の脳波を解析し、眠気誘発時と閉眼安静時の特徴を比較し、覚醒度の判定について言及している[8]。脳波の計測には高価な装置が必要で、ユーザがセンサを装着する必要があるため、日常的な机上作業において利用することは現実的ではない。脈波に基づく睡眠状況の取得も検討されている[9]。金子らは、脈波をカオス解析し、人が睡眠する 10 分前に脈波から入眠予兆信号が検出できると報告している[9]。脈波による方法では、脈波センサをユーザの皮膚に密着して必要な脈波を計測するが、体動がセンサデータに大きなノイズを与えることが課題である。

精度よく睡眠状況を取得する方法としてはカメラで撮影した顔表情を用いる手法がある。土田らは、車を運転するドライバの眠気レベルを第三者による顔表情評定値で定義し、ドライバの前方に設置したステレオカメラから得られる眼瞼及び顔向き特徴量を用いて眠気レベルを推定する手法を提案している。顔表情に基づきグルーピングを行い、グループ別に構成した学習器で 93 %の正解率を得ている[10]。自動車内などユーザ位置が変わらない場合に有効であるが、視野外への移動や遮蔽でユーザの撮影に支障が生じる環境では有効ではない。また、ユーザがカメラを意識してストレスを感じるといった知見も報告されている[11]。

これらに対して、体動を用いる方法では加速度センサや圧力センサをユーザに装着、あるいは環境に設置すればよく、カメラのようなストレスを与えない利点がある。Jean-Louis らは、手首の加速度を覚醒時と睡眠時で比較して、睡眠のレコーディングに最適なアルゴリズムを検討している[12]。西田らは、睡眠中の呼吸や体位を圧力センサによって非侵襲かつ無拘束で計測する手法を提案している[13]。体動を用いる方法では、覚醒時は体動が大きく、睡眠時に小さくなる傾向が利用される。また、環境中にセンサを埋め込めば少ない負荷で睡眠状況を取得できる。

医療目的にはセンサを体内に挿入する侵襲センシングや、センサを体表に固定させる拘束センシングも利用されるが[12]、本稿ではオフィスワーク環境でも利用可能であることを目指し、非装着かつ非侵襲なシステムで睡眠や眠気を取得することを検討する。これの実現に向けて椅子を用いたセンシングに着目し、着座中のユーザの体動から睡眠や眠気を検出することを検討する。

2.2 椅子型デバイスを用いたユーザ状況取得手法

着座中のユーザの状況を認識する方法として、椅子に埋め込んだセンサを用いる方法がある。伊藤は車内シートに圧力センサを設置し、ドライバの足の位置や状況を推定している[14]。一方、デスクワーク中のユーザを対象としたものでは、椅子と机に計 970 個の圧力センサを設置した環境で、椅子や机の振動からユーザの動作を識別する方法が検討されている[15]。Tan らは家庭やオフィスの椅子を想定

し、座面と背もたれにかかる圧力分布を 2016 個(42 x 48)の圧力センサで取得し、着座姿勢を識別する方法を提案している[16]。身体の傾きや足を組むなど 14 種の姿勢を、経験者で 96 %、未経験者で 79 %の識別率で識別している。Multu らは、Tan らが用いた姿勢をより少ないセンサ数で識別している[17]。Vanhala らは、高感度感圧センサを椅子に設置して、コンピュータエージェントの表情変化に対するユーザの体動の変化を調べている[18]。このように座面や背もたれの圧力分布はユーザの行動および姿勢の推定に有効であると考えられる。

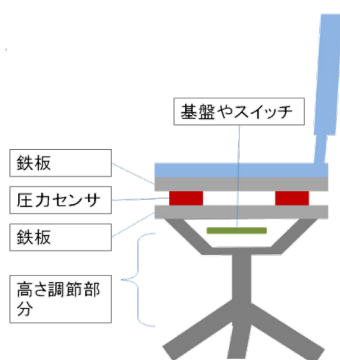
我々はこれまで、座面にかかる重心位置と重量をセンシングできる椅子型デバイス SenseChair を提案し、姿勢識別や個人識別の方法を検討してきた[2, 3]。これらの検討から、座面にかかる重量と重心位置の波形が、着座姿勢や個人の座り方の特徴をよく反映していることが分かっている。本稿では、着座中のユーザ状況認識として、椅子の座面にかかる重量と重心位置から睡眠や眠気を取得する方法を検討する。SenseChair を用いた本手法では、非装着かつ非侵襲にセンシングできるため、作業そのものを阻害することなく状況を認識できるほか、椅子型デバイスを用いた他のユーザ状態認識手法に比べてセンサ数が少なく、設置や導入にかかるコストが小さいという利点もある。また、センサの設置位置に関して複雑な計算を必要とせず、様々な椅子に本手法を適用できる可能性がある。

3. オフィスチェア型デバイス SenseChair を用いた覚醒と睡眠の 2 状態識別

本稿では、SenseChair[2]を用いた睡眠や眠気の識別手法について検討する。この方法では、ユーザの状態に応じて体動が変化し、座面にかかる重量と重心位置にその特徴が現れることを利用して識別を行う。眠気を感じている状態に比べて、睡眠状態では体動が小さくなるなど、覚醒時の体動に対してより大きな変化が生じると考えられる。そこでまず、SenseChair によって覚醒と睡眠の 2 状態を識別する手法について検討し、本手法での識別可能性を評価する。本章では SenseChair の実装と、これ以降の解析や評価に用いるデータの取得方法を述べた上で、得られたデータから覚醒と睡眠の 2 状態識別手法を検討する。

3.1 オフィスチェア型デバイス SenseChair

SenseChair は着座したユーザの重心と重心位置をセンシングできるオフィスチェア型のデバイスである[2]。図 1 に SenseChair の構成を、図 2 に実装した SenseChair を示す。SenseChair は座面下の 4 隅に圧力センサを持ち、座面にかかる重量と重心位置をリアルタイムに取得できる。重心位置は、重心の X 座標（椅子の正面から左右に延びる方向）と Y 座標（椅子の正面方向）からなる。



使用している圧力センサは、ミネベア製のストレインゲージ式フォースセンサである。これは、定格容量が 50 kg であるので、ひとつのセンサに集中して圧力がかかりすぎることを防ぐ必要があり、圧力センサを設置する面は水平かつ均一な高さにする必要がある。そこで、SenseChair は、厚さ 5 mm の鉄板 2 枚を組み込み、圧力センサを挟むような配置で圧力センサを 4 隅に装着することで、センサを水平に固定しつつ圧力を適度に分散して、椅子にかかるユーザの体重を全て計測している。組み込まれた圧力センサから得られた信号は、制御基板に送られ、ブリッジ回路によりノイズ除去を行った後に、約 300 倍に増幅される。増幅された信号は、Bluetooth を使って PC に送信される。センサの信号の取得を行う制御基板は、鉄板と座面を支えている高さ調節機構のための金型との間に取り付けているが、鉄板は Bluetooth の電波を遮断するため、Bluetooth の端子のみは通信可能な程度に露出させている。

3.2 データ収集

オフィスワークにおいて、着座者が覚醒している間は作業に従事し、キーボードを打ったり筆記したりして不規則な体動が継続的に生じていると考えられるが、一方で睡眠中の場合は机に突っ伏したり背もたれにもたれかかったりして覚醒時とは異なる体動が生じるものと考えられる。そこでまず、睡眠時と覚醒時のデータを取得し、その波形の特徴を分析する。この時、出来る限り自然な睡眠状態にある着座者からセンシングしたデータに基づいて波形の特徴を得ることが、日常的な睡眠状態を識別するために重要となる。

そこで、日常的にオフィスワークをしている 6 名（20 代前半の男性）を募って、覚醒時と睡眠時のデータを収集した。6 名の参加者には、5 日間 SenseChair を使用しながら読書やパソコン操作など、日常的なデスクワークを行ってもらった。参加者は共に、共通したオフィス用机を使用する。自然な睡眠時のデータを収集するために、参加者に睡眠を促すような教示は一切与えず、平常時と同じようにオフィスワークをしてもらうように配慮した。SenseChair によって重量と重心位置を 25 Hz で取得し、同時にウェブ

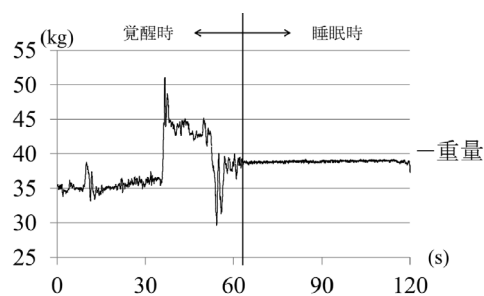
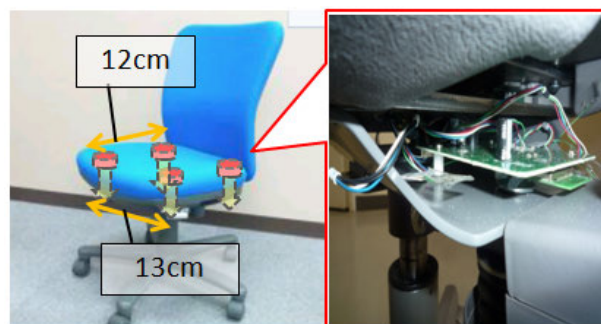


図 3 入眠前後の波形

Fig.3 Weight data of a sleeping person.

カメラを用いて実験中の参加者の様子をビデオデータとして記録した。

データの収集後、ビデオデータを確認すると、参加者それぞれから作業中に睡眠に入るデータが複数個取得できていることが確認できた。図 3 に、取得した入眠していく時の取得した重量データの変化の一例を示す。これによれば、覚醒時には重量の変化が断続的に生じているが、入眠してからは重量が一定の値をとり変化が少なくなっていることがわかった。

3.3 特徴量とデータ解析

続いて、取得した重量と重心位置の波形データから、覚醒時と睡眠時を識別するために有効な特徴量を検討する。まず、取得したデータから覚醒時と睡眠時のデータを参加者ごとに切り出す。取得データに対する覚醒時か睡眠時かの選定は、睡眠しているかどうかを実験者本人と第三者の 2 名がビデオデータを見て行った。こうして得られた覚醒時と睡眠時の波形データを周波数解析して特徴量を検討する。本手法では、覚醒時の体の動きや姿勢の変化によって、重量や重心位置の波形の振幅や周期性に変化が生じる考え、周波数解析した上で特徴量を選定することとする。

周波数解析によって波形データを観察する例として、脳波の解析手法がある[19, 20]. これはフーリエ変換を行って得られたデータのスペクトル解析が行なわれている。この手法では、まず時系列データを離散フーリエ変換して、後

表 1 結合係数一覧
Tab.1 A list of coupling coefficients.

	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10
周波数帯域	0.00-1.25	1.25-2.50	2.50-3.75	3.75-5.00	5.00-6.25	6.25-7.50	7.50-8.75	8.75-10.0	10.0-11.25	11.25-12.5
重量	0.02	0.73	0.54	0.23	0.18	0.16	0.14	0.12	0.12	0.11
X軸成分	0.18	0.23	0.34	0.39	0.43	0.39	0.30	0.27	0.27	0.26
Y軸成分	0.25	0.47	0.45	0.32	0.30	0.27	0.23	0.28	0.22	0.25

表 2 2 状態識別結果
Tab. 2 Result of sleep detection.

ユーザ	A		B		C		D		E		F	
出力(%)	覚醒	睡眠	覚醒	睡眠	覚醒	睡眠	覚醒	睡眠	覚醒	睡眠	覚醒	睡眠
覚醒	70.0	30.0	81.8	18.2	43.3	56.7	80.0	20.0	100.0	0.0	60.0	50.0
睡眠	8.0	92.0	10.0	90.0	53.3	46.7	10.0	90.0	20.0	80.0	10.0	90.0

に実数と虚数部分の和を周波数ごとに作成する。スペクトルとはその実数と虚数部分の和の絶対値であるが、このスペクトルを見ることで、異グループのデータの間に影響を与えている周波数成分がより顕著に表れ易いとされている。

本稿でも同様のスペクトル解析をして主成分分析を用い、その主成分を特徴量として抽出する。25 Hz で得た 6 人分の 10 分間の覚醒時と睡眠時の重心・重量の時系列データを 1024 個ずつフーリエ変換し、0~12.5 Hz までの振幅スペクトルを得る。その後、0~12.5 Hz を 10 個の周波数帯域に分割し、分割した周波数帯域毎にスペクトルの平均値を算出し、覚醒時と睡眠時のスペクトル比に関して主成分を得た。ここでスペクトル比を利用したのは、実験者間の体重差などを正規化するためである。主成分分析では、主成分の寄与度の和が 70~80%を越える第 i 主成分まで用いる方法が一般的であるが、今回は第一主成分の寄与度が 80%程度であったため、第一主成分のみを用いている。

実際に主成分分析を行った際の結合係数の一覧を表 1 に示す。重量波形からは、1.25~2.50 Hz 帯域と 2.50~3.75 Hz が、重心位置の X 成分からは 5.00~6.25 Hz 帯域が、重心位置の Y 成分からは 1.25~2.50 Hz 帯域がそれぞれ第一主成分の結合係数の大きな順で得られた。特徴量として、結合係数が極めて大きい 7 つを選んだ。具体的には、周波数重心位置の X 成分からは 3.75~5.00 Hz, 5.00~6.25 Hz, 6.25~7.50 Hz, 重心位置の Y 成分からは 1.25~2.50 Hz, 2.50~3.75 Hz の平均スペクトルを用いた。本システムの特徴量は、計 7 次元の特徴量ベクトルとした。

3.4 システム構成

3.3 節の解析結果から、覚醒と睡眠の 2 状態を識別するシステムを構成する。3.3 節で抽出した 7 次元の特徴量ベクトルを識別器である SVM に入力し学習させることで、対応した特徴ベクトルが覚醒時なのか睡眠時なのかを判断できる。また、SVM のカーネル関数には、RBF カーネルを用いた。SVM の Type は nu-SVM を使用し、SVM のパラメータは、 $\gamma=0.15$, $C=1.0$, $\text{nu}=0.49$ とする。

3.5 評価実験

重心と重量に基づく覚醒と睡眠の 2 状態識別システムの識別性能を評価する。評価には前述の 6 名の参加者から取得したデータを用いる。まず、各参加者の覚醒時の 10 分間から得たデータと、睡眠時の 10 分間から得たデータをそれぞれ 1 つずつ抽出する。その後、波形データを 40 秒毎のウィンドウに区切り、区間ごとに重量、重心位置の X 成分、重心位置の Y 成分の 3 つのデータに対してフーリエ変換を行う。その後、ウィンドウ毎に 7 次元の特徴量ベクトルを構成してこれを評価に用いる。

評価にあたっては、参加者内の交差検定によって識別率を算出する。睡眠時の 10 分間のデータと覚醒時の 10 分間のデータからそれぞれ 10 個、合計 20 個の特徴ベクトルを参加者ごとに取り出し、10-fold の交差検定で識別率を算出する。

表 2 に識別結果を示す。これらの結果から、参加者 6 名の平均正解率が 76.9 %となった。表 2 より、実験参加者 6 名のうち 4 人では、睡眠時のデータを入力した時の識別率が覚醒時の識別率より高いことがわかる。また、睡眠の識別率だけ見ると、平均識別率は 80 %を越える。これは、睡眠状態を見逃しにくい識別方法になっていることを示しており、SenseChair による非装着・非侵襲なセンシングで覚醒と睡眠の 2 状態識別が可能であることが示唆された。

覚醒状態と睡眠状態の識別率低下の原因としては、覚醒時でも体動が少ない場合があったことが挙げられる。また、睡眠状態の場合でも睡眠中の姿勢変化などで覚醒状態に似た体動変化が起こり、その結果睡眠状態のデータを入力したにも関わらず、覚醒状態と出力され識別結果が悪くなったことも考えられる。例えば、参加者 C と F の識別率は他よりも低い、参加者 C と F は入眠後背もたれにもたれかかるように眠っており、姿勢が崩れるたびに頻繁にその姿勢を修正するという動作を行っていた。そのため、睡眠中であっても動きが覚醒時の動きに近く、識別率が低下したのではないかと考えられる。こうした個別の眠り方の違い

表 3 眠気レベルの定義

Tab 3 Definition of sleepiness levels.

眠気レベル	動作例
1: 全く眠くなさそう	視線の移動が早く頻繁。動きが活発で体の動きを伴う
2: やや眠そう	唇が開いている。視線の動きが鈍い。
3: 眠そう	瞬きはゆっくりで頻発。
4: かなり眠そう	意図的と思われる瞬きがある。頭を振る。あくびが頻発。
5: 非常に眠そう	瞼を閉じる。頭が前に傾く。頭が後ろに傾く。

に合わせて特徴量を追加し、さらに汎用的に睡眠を検出できるようにすることが今後の課題といえる。

4. 重心・重量を用いた眠気識別手法

ここまで、着座者の睡眠と覚醒の2状態識別を座面の体動のみから識別することを検討してきた。評価の結果、睡眠時の座面にかかる重心・重量の波形には覚醒時と異なる傾向があることが確認された。そこで本章では、入眠するまでに感じる眠気の強さを認識する方法について検討する。眠気を感じている状態では睡眠時よりも体動があり、覚醒時との区別が難しいと考えられる。しかし、眠気の検出技術は、完全な睡眠に入る前に警告を発したり、休憩を促したりして、事故やヒヤリハット事例を未然に防いだり、作業効率を維持したり様々な応用に役立てられる。特に着座者の座面にかかる重心・重量を用いた本手法ではユーザへの負担なしで眠気を検出できる利点がある。本節では先と同様に体動に基づく特徴量を抽出し、これを識別器によって識別する方法を検討する。特徴量の選定も周波数スペクトルに対する主成分分析によって行う。

4.1 眠気の強度のタグ付け

眠気識別のための特徴量抽出にあたって、まず、眠気の強度をタグ付けした一連の重心・重量のデータが必要となる。そこで、3章で得られた6名の参加者が睡眠するデータの内、入眠するまでの10分間のデータについて、眠気強度をラベル付けする。眠気の尺度として、SSS(Stanford Sleepiness Scale)[21]が有名であるが、これは眠気を7段階に分け、主観評価により自分が今どのような眠気段階にあるかをその場で回答する方法である。本研究では、アンケートに定期的に回答することが、自然な入眠を妨げてしまう懸念から、センシングと並行して本人に眠気を記録してもらうことは避けている。そこで、事後的に参加者の眠気を評価する必要がある。その手法としてよく用いられているのが、顔表情からの眠気評価[22]である。手法[22]は、眠気レベルを表3のように5段階に分けて定義し、実験の目的・概要を知らない2名がビデオデータを見て評価した結果と、

表 4 第三者評価と主観評価の順位相関係数
Tab 4 Spearman's rank correlation coefficient between sleepiness ratings by observers and by the participant.

	スピアマンの順位相関係数
ユーザ A	0.74
ユーザ B	0.68
ユーザ C	0.76
ユーザ D	0.87
ユーザ E	0.90
ユーザ F	0.93
平均	0.77

実験参加者本人が主観的に評価した結果に高い相関があったことを報告している。この結果から、この眠気評価[22]は、眠気を客観的に評価する方法として有効な手段の一つだと考えられる。ここでの検討でも同様の方法で評価者に眠気を評価してもらい、データに眠気の強度を付与する。

以前の計測内容を知らない5名の評価者に眠気評価の手法[22]で眠気の強度を評価してもらう。覚醒状態から睡眠状態までを含んだ6人分の10分間のビデオデータを閲覧しながら、ビデオの初めから順番に5秒毎に眠気評価を行ってもらう。5秒の合図としてメトロノームを鳴らしている。評価者には、ビデオデータの顔表情や動作から眠気を表3の5段階に従い評価してもらうが、評価の度にビデオを止めることはせず、連続して評価してもらう。なお、眠気は5段階で評価するものとし、眠気レベルは1だとほとんど眠気が無い状態、眠気レベルが5だと非常に眠気があるとという状態で睡眠の開始時の状態であるとした。この眠気の基準は5名の評価者に事前に教示している。

また、評価者5名だけでなく、データ計測に参加した本人にも後からビデオを見て同様の眠気評価をしてもらう。第三者による眠気の評価と、本人が後から確認した眠気の評価との一貫性について確認することで、事後的な眠気の評価が一定の妥当性を持つか検証する。

こうして得られた評価結果から、第三者評価結果の平均値と、本人の評価結果についてスピアマンの順位相関を算出したところ、表4のような値が得られた。順位相関係数は平均で0.82となり高い正の相関が得られた。これにより、第三者による客観的な評価が、参加者本人による評価と一貫性を持っていることが確認できた。以降は第三者的に評価した眠気評価の結果を用いて検討を進める。

この評価の後、ビデオデータと重量と重心位置の時系列データを同期し、5秒ごとに区切ったデータのそれぞれに、第三者評価によって得た眠気の強度を付与した。

4.2 特徴量

	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10
周波数帯域	0.00-1.25	1.25-2.50	2.50-3.75	3.75-5.00	5.00-6.25	6.25-7.50	7.50-8.75	8.75-10.0	10.0-11.25	11.25-12.5
重量	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03
X軸成分	0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Y軸成分	0.00	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05

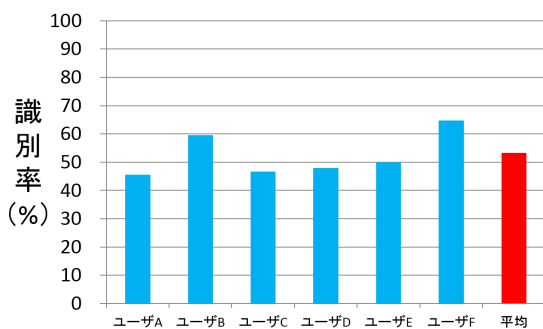


図4 眠気識別の個人結果

Fig. 4 Individuals' results of sleepiness detection.

眠気の強度をタグ付けしたデータに基づいて、眠気識別のための特徴量を検討する。覚醒と睡眠の2状態識別の時と同様に、フーリエ変換して得られた周波数成分に対し、主成分分析を行なった。その結果を表5に示す。主成分分析の結果からは、結合係数の偏りがほとんど見られなかった。そこで、今回は可能な限り多くの周波数成分を用いて特徴ベクトルを構成することとした。SVMに入力する特徴量は、重量・重心位置X、Yにつきそれぞれ64次元の周波数スペクトルを採用し、合計で192次元からなる特徴ベクトルとなった。

4.3 システム構成

このデータ収集の結果から、眠気を5段階で識別するシステムを実装した。識別に用いる特徴ベクトルは4.2節で述べたように重量、重心位置X、Yのそれぞれ64次元の周波数スペクトルから構成される。SVMのパラメータは、覚醒と睡眠の2状態識別の時と同じものを用いた。

4.4 評価実験

提案した眠気識別システムの識別性能を評価する。10分間の重量・重心位置の時系列データを、5秒ごとにフーリエ変換して、それぞれから特徴量ベクトルを算出する。これにより、10分間のデータから120個の特徴量ベクトルが得られる。評価実験では、参加者内での識別と、参加者間での識別の両方を行う。

まず、参加者内での識別では、ある参加者から得られた特徴量ベクトルをタグ付けされた5段階の眠気レベル毎に仕分ける。さらに、眠気レベル毎にデータをランダムに抽出して10組のデータセットに分割する。そのうち1組をテストデータ、残り9組を訓練データとする交差検定によって識別性能を評価する。ただし、参加者によっては眠気の強度の分布に偏りがあり、眠気レベル5のデータが極端に

表6 個人間識別の結果

Tab. 6 Result of sleepiness detection between participants.

		眠気レベル出力(%)				
		1	2	3	4	5
眠気レベル 入力	1	43.3	19.4	9.0	28.4	0.0
	2	14.9	44.8	20.9	14.9	4.5
	3	14.9	34.3	17.9	10.4	22.4
	4	13.4	10.4	9.0	49.3	17.9
	5	11.9	3.0	3.0	6.0	76.1

少なかったり、眠気レベル1のデータが少なかったりしている。そこで、ある参加者のある眠気レベルにおいて10個未満しかデータがない場合は、個人毎にそのレベルを取り除いた。

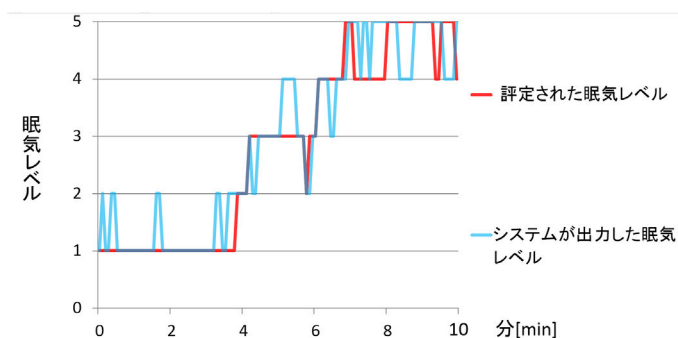
一方、参加者間の識別でも同様に、参加者毎、眠気レベル毎にデータを一旦仕分け、各データ群を10個に分割する。その後、全参加者のデータから1組を選んでテストデータ、残りの9組を訓練データとして、交差検定によって識別性能を評価する。ここでは参加者毎に10分間のデータから120個の特徴量ベクトルが算出されるため、合計で720個の特徴量ベクトルを得ている。ここでは眠気評価の結果の偏りによってデータを除外することなく、720個の特徴ベクトルすべてを評価に用いる。

図4に、参加者内での識別結果を示す。各参加者毎に識別率を算出し、これら6人分を平均した識別率は、53.4%となった。表6に、参加者間での識別結果を示す。この場合の平均識別率は、46.3%となった。

4.5 考察

まず、個人内の識別結果を各個人の結果から考察する。ここで個人ユーザの結果の一例として、ユーザAの第三者評価の評価値結果とシステムが出力した結果を時系列で表示したものを、図5に示す。図から、評価された眠気レベルとシステムの出力値の傾向は似ていることが分かる。

ここで、入力するデータ、すなわち第三者評価によって付けられた評価値とSVMに出力された評価値についてスピアマンの順位相関係数を調べた。その結果を表7に示す。平均で0.75と高い相関が得られた。これは更に高い正答率を出すには1分ごとに出力値を平均してからユーザに提示するなどして、システムの出力値にローパスフィルタをかけることで、正答率が向上する可能性が考えられる。その



場合、検出する時間が長くなってしまうので、検出時間と検出精度はトレードオフ関係にあるといえる。オフィスワークにおいては、ある程度の眠気検出が遅れることに特に問題はないと考えられるので、大きな効果を得られるシステムを構築できる可能性が示唆される。眠気レベルが3以上になったら休息が必要であるといったように、眠気レベルにグループ化を行うことで、現時点の識別精度であっても、眠気を認識するシステムが十分に構築可能であると考えられる。

次に、個人間の識別結果から考察する。個人間では、訓練データは実験参加者全員のものを混同しているため、より一般的な眠気識別結果だと考えられる。表6から、個人内の結果と同様に、眠気レベルの入力と出力の差がある組み合わせに関しては、例えば正解が眠気レベル1のデータを入力した時、出力結果が眠気レベル5だと判断される確率が0%のように、誤りが少ない。また、正解が眠気レベル1のデータを入力し、出力結果が眠気レベル2となった確率が19.4%であり、本手法では正解に近い眠気レベルが出力されやすいと考えられる。ここで、個人内の時と同様に、入力するデータ、すなわち第三者評定によって付けられた評定値とSVMに出力された評定値についてスピアマンの順位相関係数を調べた。その結果、順位相関係数が0.49という結果が得られた。個人間の眠気識別に関しても第三者評定とSVMによる評定で正の相関があり、入力と出力に眠気レベルの差が出にくいという考えを裏付けていると考えられる。

識別精度に関して、個人間の平均の識別率は、個人内での識別率より低い。個人識別と組み合わせることで[3]、まずユーザを特定し、キャリブレーションを行い、より高い精度で識別を行うことも可能になると考えられる。さらに、識別精度を向上させる方法として無意識下で眠気を取得できる新しいセンシング手法を組み合わせることも考え

表7 個人内識別でのSVMの識別結果と
第三者評定の順位相関係数

Tab. 7 Spearman's rank correlation coefficient between recognition results by the system and sleepiness ratings by observers.

	スピアマンの順位相関係数
ユーザA	0.84
ユーザB	0.78
ユーザC	0.82
ユーザD	0.53
ユーザE	0.66
ユーザF	0.86
平均	0.75

られる。2.2節より、脈波センサを椅子に組込み眠気を取得するという手法があるが、これをSenseChairに組込むことで、圧力と脈波の両方のデータを取得できるようになり、そこから得たデータから特徴量を抽出すれば、識別精度を向上させることも可能であると考えられる。

5. 応用例

椅子を用いた睡眠取得や眠気識別の技術は、オフィスワーク環境での眠気取得による作業の効率化、グループ内のコミュニケーション支援、自動車運転時の眠気警告など様々な分野に応用できる。

例えば、オフィスワーク環境での作業効率化では、作業中の眠気を取り続けることで、ユーザが非常に眠気の強い状態になった時に適切なタイミングでシステムが休憩を促すことが考えられる。また、複数人の眠気を取得し、管理することで、疲労度の高い順に休息をとるようなシステム作りが可能となる。また、長期的な計測結果を用いれば、日中の眠気が高い頻度で継続的に発生している場合には不眠症や過度の眠気などの症状を検出し、健康管理に役立てるような応用も可能であると考えられる。一方で、睡眠や眠気の識別は、ある作業に対する集中度の指標としても利用できると考えられる。例えば、講義や講演で着座している聴衆の眠気を随時検出すれば、講演内容の評価を行ったり、聴衆の関心がどこにあるかを測ったりできる可能性がある。学会発表でも同様に聴衆の眠気を知ることで発表を改善する指標とすることができる。

1章で述べたように眠気による作業効率低下による経済的損失は年間で数兆円ともいわれており、こうした眠気の検出や、睡眠の予防は社会的利益が非常に大きいと考えられる。また、自動車運転時の眠気警告を行えば、居眠りによる交通事故を予防する手助けになり得る。自動車には先進緊急ブレーキシステム（AEBS: Advanced Emergency Breaking System²）など事故防止のシステムが装備されるなど、危険運転による重大事故の抑制は大きな課題である。

2 先進緊急ブレーキシステム
<http://www.ntscl.go.jp/forum/2010files/10-12p.pdf>

眠気警告を行うことでさらに交通事故を減らすことが可能になれば、その社会的意義は大きい。特に提案手法では座面にセンサを導入するだけで眠気を識別できるため、ドライバの動作を阻害することがなく、また、カメラを用いた手法に比べて環境光などの影響を受けないという利点がある。実際に提案手法で運転者の眠気を取る場合には車体の振動がノイズとなることが想定されるが、車体振動を別途取得して差し引くなどの処理で、運転者の体動を取得する工夫を加えることで適用できると考えている。

6. おわりに

本稿では、SenseChair を用いて座面にかかる重心・重量に基づき着座者の睡眠や眠気を取得する手法を提案し、これを評価した。椅子を用いて非装着かつ非侵襲にセンシングする SenseChair で実際の作業環境に近い状況で取得した重心・重量の波形から識別に有効な特徴量を選出した。覚醒時、眠気のある時、睡眠時のそれぞれで体動の違いが生じる点に着目し、着座者の重心・重量の波形データを入力とする睡眠判定手法を提案した。覚醒と睡眠の2状態識別では、6人の参加者内識別で76.9%の平均識別率を得た。また、覚醒中だが眠気のある状態を5段階に分類し、この5段階の眠気の識別可能性についても検討した結果、参加者内で53%、参加者間で46%の識別率を得た。これらにより、提案手法はユーザの注意を削ぐことなく睡眠や眠気の識別が可能であることを確認した。

今後はより多数の参加者による評価を通じて汎用性を評価するほか、オフィスワーク以外のコンテキストにおける評価などを進め、提案手法の有効性を高めていく。

参考文献

- 1) Cook, D. J., Augusto C. J., and Jakkula, R. V.: Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities. In Proc. Pervasive and Mobile Computing 5(4), pp. 277-298 (2009).
- 2) 池田和章, 伊藤雄一, 中島康祐, 尾上孝雄: “様々な椅子での重心・重量による姿勢識別率に関する検討”; ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 13, pp. 33-38 (2011).
- 3) 池田和章, 伊藤雄一, 中島康祐, 尾上孝雄: “着座時の座面重心と重量を用いた個人識別に関する検討”, 電子情報通信学会技術研究報告:信学技報, Vol. 112, No. 221, pp.11-16 (2012).
- 4) Liu, X., Uchiyama, M., Kim, K., Okawa, M., Shibui, K., Kudo Y., Doi, Y., Minowa, M., and Ogihara, R.: Sleep loss and daytime sleepiness in the general adult population of Japan Psychiatry Research, Vol. 93, No. 1, pp. 1-11 (2000).
- 5) Kaneita, Y., Ohida, T., Uchiyama, M., Takemura, S., Kawahara, K., Yokoyama, E., Miyake, T., Harano, S., Suzuki, K., Yagi, Y., Kaneko, A., Tsutsui, T., and Akashiba, T.: Excessive Daytime Sleepiness among the Japanese General Population. Journal of Epidemiology, Vol. 15, No. 1, pp. 1-8 (2005).
- 6) Achermann, P., and Borbély, A. A.: Low-frequency (1Hz) Oscillations in the Human Sleep. Electroencephalogram Neuroscience, Vol.81, pp. 213-222 (1997).
- 7) 中野公彦, 大堀真敬, 山口大助, 山邊茂之, “パラレルファクター解析によるドライビングシミュレータ運転者脳波の分析,” 生産研究, Vol.61, no.2, pp.66-69, (2009).
- 8) 兼弘光明, 石川美緒, 戸田尚宏, “眠気誘発時の脳波の高次スペクトル解析,” Institute of Electronics, Information, and Communication Engineers, Vol.109, no.460, pp. 33-36 (2010).
- 9) 金子成彦, 佐々木洋介, 山崎由大, “入眠予兆信号検出法に関する研究,” Dynamics Design Conference, no.342, pp. 1-4 (2006).
- 10) 土田歩, 河中治樹, 小栗宏次, “顔表情からの眠気評定特性を考慮した被験者に依存しないドライバ状態分類” 電子情報通信学会技術研究報告. IE, 画像工学 111(442), pp. 251-256, (2012)
- 11) 杉原太郎, 藤波努, 中川健一, “カメラとモニタ導入に伴うグループホーム介護者の負担感に関する研究” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.107, no.656, pp. 2315-2324 (2010).
- 12) Louis, J. G., Kripke, F. D., Cole, J. D., Assmus, D. J, and Langer, D. R.: Sleep detection with an accelerometer actigraph: comparisons with polysomnography. Physiology Behavior, Vol.72, no.1-2, pp. 21-28 (2001).
- 13) 西田佳史, 武田正資, 森武俊, 溝口博, 佐藤知正, “圧力センサによる睡眠中の呼吸・体位の無侵襲・無拘束な計測,” 日本ロボット学会誌, Vol.16, no.5, pp. 705-711 (1998).
- 14) Itoh, M.: Human monitoring-based driving support. Proc. of the World Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC), pp. 15076-15087 (2008).
- 15) 斉藤昇, 澤井章代, 森武俊, 佐藤知正, “センサデスクを用いた机上作業の認識,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 2A1, pp. 76-113 (2000).
- 16) Tan, Z. H., Slivovsky, A. L., and Pentland, A.: A sensing chair using pressure distributionsensors. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol.6, no.3, pp. 261-268 (2001).
- 17) Mutlu, B., Krause, A., Forlizzi, J., Guestrin, C., and Hodgins, J.: Robust, low-cost, nonintrusive sensing and recognition of seated postures. In Proc. UIST., pp. 149-158 (2007).
- 18) Vanhala, T., Surakka, V., and Anttonen, J.:Measuring bodily responses to virtual faces with a pressure sensitive chair. In Proc. NordiCHI, pp. 555-558 (2008).
- 19) 横山幸生, 島田尊正, 竹村淳, 推名毅, 斉藤陽一, “睡眠脳波の主成分分析とニューラル ネットワークによる特徴波検出” 電子情報通信学会論文集, Vol.76, no.8, pp. 1050-1058 (1993).
- 20) 土田隆政, 守屋秀繁, 吉永勝訓, 窪田俊夫, “脳卒中片麻痺歩行の定量的評価:主成分分析による検討” リハビリテーション医学, Vol.35, no.7, pp. 477-484 (1998).
- 21) Hoddes, E., Zarcone, V., Smythe, H., Phillips, R., and Dement, W.C.: Quantification of sleepiness:a new approach. Psychophysiology, pp. 431-436 (1973).
- 22) 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, Vol.63, no.96, pp. 93-100 (1997).