

健常者のうつ兆候検知に向けた 睡眠状況と労働衛生指標の統計分析

福田 修之^{1,a)} 松田 裕貴¹ 荒川 豊^{2,3} 安本 慶一¹

概要: 近年、企業に勤める労働者の行動変容を目的として、日々の行動や心理・生理状態を認識する研究が盛んに行われている。本研究の目標は、企業に勤めるオフィスワーカーの日々の心身状態を把握し、それぞれにあったサポートすることで行動変容を促し、快適性向上や病気の予防・早期発見による健康管理を行うことである。先行研究では、一般企業5社に勤めるオフィスワーカー60人に対して、一般的に普及しており企業や個人が容易に導入可能なウェアラブルデバイスを2～3週間の装着し、日々の睡眠データと労働者の精神状態を測定するアンケート回答を収集した。本稿ではそれらのデータを基に、起床時のDAMS (Depression and Anxiety Mood Scale) 質問票により得られる抑うつ、肯定、不安気分のスコアの高低群で、睡眠状況にどのような違いがあるのかを明らかにした。

キーワード: 睡眠, DAMS, ウェアラブルデバイス, 労働衛生指標

1. はじめに

近年、うつ病患者は年々増加しており、深刻な社会問題になっていることから、職場のメンタルヘルスが注目されている。Work-Related Stress : 仕事関連ストレスは、抑うつや身体症状を引き起こすものとして、2004年以降WHOが職場や従業員に向けて啓発を行っている [1]。わが国において、うつ病による休職者は増加傾向にあり、それによる経済損失は3兆円ともいわれている。

これらの社会問題に対して、日本において、平成26年6月の労働安全衛生法の改正により、50名以上の従業員を抱えるすべての企業においてストレスの定期チェックが義務付けられ、労働者の労働時間の正確な管理やストレスチェックが行われている [2], [3], [4]。

しかし、年々増加するうつ病患者の治療のための長期的な医療設備の割り当てや、ストレスチェック法による労働者ひとり一人に対して産業診断医の検診の需要は、医療資源不足を招く事となる。これらのことから、うつ病になる前の早期の予防医療に注力することで、医療費の削減や医療設備の効率的な運用が求められている。そこで、内閣府は、Society 5.0 [5] において、予防医療の観点から、自動

健康診断などによる病気の早期発見や健康促進によるうつ病患者の増加の阻止と医療コストの削減を、現在、目標として掲げている。

そのなかでも、職場などの労働環境における心身状態の把握には、DAMSなどの質問票を用いたアンケートが一般的に用いられている。しかし、これらの質問票は、定性的であり、気分一致効果などによる測定誤差が生じる。また、多くとも月に一回程度の回答が一般的であり、常時測定する事が不可能であるという問題点が存在する。

これらの背景から、本研究では、うつ症状の早期検出を目的として、ウェアラブルデバイスから得られる情報を活用し、企業に勤めるオフィスワーカーの日々の心身状態を把握を行うシステムの構築を行う。そして、日々の心身状態に合わせたサポートをすることで、行動変容を促し、快適性向上や病気の予防・早期発見による健康管理を行う。本研究のウェアラブルデバイスによるうつ状態の検出には、日々の健康状態を反映する指標として注目されている「睡眠」を用いる。睡眠は、脳機能と多くの身体システムと密接に関わっていることから、健康や生活の質 (QoL : Quality of Life) だけでなく、交通事故、精神状態、薬物乱用、死亡率と罹患率の増加、医療費の増加、パフォーマンス、生産性の低下へと影響する事が報告されている [6], [7], [8], [9], [10]。

このような背景から、企業に勤める労働者の睡眠状況が、どのように健康状態や快適性向上に影響するかを統計調査

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology
² 九州大学, Kyushu University
³ JST さきがけ, JST Presto
^{a)} fukuda.shuichi.fs5@is.naist.jp

した研究が多数なされている。たとえば, Annina らは, 睡眠の質を測定する Pittsburgh Sleep Diary 質問票の起床時の回答と, その日のリカバリー経験を測る Recovery Experience Questionnaire 質問票 (REQ) の回答, 1 日の労働時間の関係を, 被験者 154 人の 4 日間にわたる回答結果を用いて, ロジスティック回帰分析により分析した [11]. その結果, 長時間にわたる労働は睡眠の質と回復状況の悪化を招く事が指摘されている。しかしながら, Annina らの研究は, 質問票同士の統計的な関係性や相関関係の報告のみにとどまっており, 企業に勤める労働者一人ひとりの心身状態を, ウェアラブルデバイス等を用いてモニタリングすることはできない。

また一方で, 人間の健康状態を反映する睡眠に着目し, 健常者と精神疾患の患者の睡眠を比較して, その睡眠構造を調査した論文も数多く報告されている [12], [13], [14]. Nutt らは, うつ病症状を持つ患者の睡眠ポリグラフ検査から得られるレム睡眠の状態 (頻度, 長さ, 時間間隔など) を統計分析により分析した。その結果, 健常者群と比べて, うつ病症状を持つ患者の群で, REM 睡眠時間の増加, および REM 密度の増加 (REM 期間あたりの急速な眼球運動の頻度) が確認された。しかし, Nutt らの研究では, 睡眠の計測に専用の機器・設備を用いるため, 日常生活のモニタリングには適していない。また, 被験者が重度の精神疾患患者であるため, 本研究が目指す一般の労働者を対象とした予防医療に向けたうつの兆候の検知とは目標および対象者が異なる。

上記の問題に対して本稿では, 日常生活での健康状態のモニタリングに適したウェアラブルデバイスで取得可能な一般の労働者の睡眠情報が, DAMS 質問票の抑うつ, 肯定, 不安気分とどのように関係するかを明らかにした。また, 先行研究で報告されている睡眠ポリグラフにより高精度に計測された睡眠情報と抑うつの関係について, 一般市場に普及しているウェアラブルデバイスの睡眠情報と DAMS の抑うつで同様の傾向が見られるかについても検証を行った。本稿で明らかになった睡眠と抑うつに関する知見を用いる事で, 今後一般的に普及されている睡眠計測ウェアラブルデバイスによる, 予防医療に向けた労働者の日々のうつ兆候の検知が可能となると考えられる。

2. 関連研究

本節では, 関連研究として過去に行われた労働衛生に関するアンケートの統計分析や本研究の睡眠の解析に役立つ医療分野の関連研究を示す。そして, それらの研究と本研究が対象とする一般市場に普及しており, 企業や個人が容易に導入可能なウェアラブルデバイスを用いた, 労働者のうつ兆候検知のための睡眠分析の位置づけを示す。

2.1 睡眠に関する質問票の統計分析研究

Annina らは, 睡眠の質を測定する Pittsburgh Sleep Diary 質問票の起床時の回答と, その日のリカバリー経験を測る Recovery Experience Questionnaire 質問票 (REQ) の回答, 1 日の労働時間の関係を, 被験者 154 人の 4 日間にわたる回答結果を用いて, ロジスティック回帰分析により分析した [11]. その結果, 長時間にわたる労働により, 睡眠の質と回復状況の悪化を招く事が指摘されている。

Adam らは, 米国で最も健康被害が大きい職種とされる Long-haul truck driving (LHTD) の職業に従事する 60 の被験者を対象に, 質問票により得られる, 職業性ストレス, 睡眠の質, ワークライフバランスの関係をロジスティック回帰分析および構造化分析により調査した [15]. その結果, 職業性ストレスがワークライフバランス低下の予測因子として有効であることを報告している。また, 睡眠の質の低下および時間の減少が, 職業性ストレスの増加につながることも分析結果より報告している。これらのことから, Adam らは, 良質な睡眠の質および時間の確保が LHTD のワークライフバランス向上へとつながると提言している。

2.2 睡眠と抑うつ状態の関係性分析

睡眠と抑うつ状態の関係は古くから研究されており, 睡眠のなかでも眼球運動を伴うレム睡眠の状態が抑うつ状態に関係する研究結果が数多く報告されている。Pesonena らの研究では, 平均年齢 16 歳の若者 161 人を対象として, 睡眠ポリグラフ検査により測定されたレム睡眠と Beck Depression Inventory II 質問票 [16] から得られる抑うつ状態について統計分析を行った結果, レム睡眠の質の低下と短い覚醒状態によるレム睡眠の断片化が抑うつ状態の悪化を引き起こす事を示唆している [14]. また, Palagin らは, レム睡眠とうつ病の間の複雑に関与しあっていると考えられる遺伝的, 神経化学的および神経生物学的要因について評価した [17]. Palagin らの分析結果では, うつ病の患者のレム睡眠の変化には遺伝的影響がある事を指摘している。

Gould らの研究では, 地域在住の高齢者 (N = 167) の, 不安症状, 抑うつ症状, 日中の眠気, および睡眠の質を, アンケートと睡眠ポリグラフ検査を用いて調査した [18]. Gould らの研究結果は, 抑うつと不安のスコアが高いと, 全体的な睡眠の質が悪くなり, 不安スコアが大きくなると, 日中の眠気が大きくなることを明らかにした。

Boafo らの研究では, カナダの東オンタリオ小児病院の入院精神科の入院患者であるうつ病を患う 17 人の自殺願望のある青年 (自殺未遂経験があり, 自殺リスクが高いため社会になじむ事が難しいと判断され, 入院している患者) を対象に睡眠ポリグラフ検査による調査を行った [10]. その結果, 健康体の対称群と比較して, 自殺傾向のある 10 代の 31% が就寝時刻の遅れを報告し, 75% が睡眠障害を報告した。また, 彼らの睡眠ステージでは長い睡眠開始とレム

潜伏期と高いレム密度を持っており、睡眠期間の最後の3分の1でN1睡眠が高く、N3睡眠が低かった事が明らかとなった。

yang らは、重度のうつ病患者と不眠症患者の心拍変動 (Heart Rate Variability: HRV) から測定される自律神経機能の関係性を調査した [19]。被験者は、薬物治療を行っていないうつ病患者 52 人、不眠症患者 47 人、および比較対象として参加した健康体の健常者 88 人であり、実験期間中に、携帯型心電測定器 [20] を 24 時間装着し、睡眠と気分のアンケートの回答を行った。統計分析の結果、健常者群と比較して、うつ病および不眠症の患者群は、日中および就寝時の副交感神経関連の HRV 指数の有意な低下を報告している。

2.3 本研究の位置付け

2.1 節に示す上記の研究は、質問票同士の統計的な関係性や相関関係の報告のみにとどまっており、企業に勤める労働者一人ひとりの心身状態をモニタリングし、予防医療や快適性向上など個々に必要なサポートを行い、行動変容を促すことはできない。

また、2.2 節に示す精神疾患の患者の睡眠ステージを解析し、その傾向を報告した研究では、睡眠の計測に専用の機器を用いるため、日常生活のモニタリングには適していない。また、被験者が重度の精神疾患患者であるため、本研究が目指す一般の労働者を対象とした予防医療に向けたうつの兆候の検知とは目標および対象者が異なる。

本研究の最終目標は、企業に勤めるオフィスワーカーの日々の心身状態を把握し、それぞれにあったサポートすることで行動変容を促し、快適性向上や病気の予防・早期発見による健康管理を行うことである。

本稿では、一般市場に普及しており企業や個人が容易に導入可能なウェアラブルデバイスで測定された睡眠及び心拍データからわかる睡眠状況が、DAMS 質問票の抑うつ、肯定、不安気分のスコアの高低群の間で、どのような違いがあるのかを明らかにする。

3. 睡眠状況と DAMS の関係性分析

本研究は健常者の予防医療に向けたうつの兆候の検知を目的とし、睡眠と抑うつの関係性の分析を行う。それにあたり、本節では起床時の DAMS 質問票により得られる抑うつ、肯定、不安気分の高低群で、睡眠状況にどのような違いがあるのかを検証する仮説を以下に述べる。

3.1 仮説および問題設定

Pesonena らの先行研究では、レム睡眠の質の低下と短い覚醒状態によるレム睡眠の断片化が、抑うつ状態の悪化を引き起こす事を示唆している [14]。また、horvath らの不安気分と睡眠の統計分析の結果では、高レベルの不安気

分により、N2 睡眠ステージ (Fitbit では浅い睡眠) の増加と N3 睡眠ステージ (Fitbit では深い睡眠) の減少が報告されている [21]。

しかし、これらの結果は、睡眠ポリグラフ検査により高精度に測定された睡眠ステージの解析結果を用いたものである。本研究では、専用の施設や測定機器が必要となる睡眠ポリグラフ検査ではなく、企業や個人が日々の睡眠モニタリングを行える市販のウェアラブルデバイスで同様の傾向が確認されるかを仮説 1 として検証する。

仮説 1. 現在一般の消費者でも導入可能なウェアラブルデバイスで測定した睡眠において、先行研究と同様の抑うつ傾向が見られるか

horvath らの研究では、不安気分の増加により入眠潜時 (眠りに着くまでの時間) が長くなる事が指摘されている [21]。また、うつ病を患う自殺未遂経験のある青年の睡眠ステージ分析をした Boafu らの研究結果 [10] では、入眠潜時の増加や睡眠期間の最後の 3 分の 1 で N1 睡眠ステージ (Fitbit では浅い睡眠) の割合の増加、N3 睡眠 (Fitbit では深い睡眠) の割合の減少が明らかとなった。そこで、本研究でも健常者群の普段のねつきや各睡眠ステージの睡眠潜時を、DAMS スコアの高低 2 群で比較し、先行研究との差異を検証する。なお、本研究では、入眠 1 時間の覚醒時間の長さを寝つきの指標として定義した。

仮説 2. 普段の生活の健常者のねつきおよび入眠潜時は、抑うつと関係しているのか

yang らの先行研究では、携帯型心電測定器 [20] を用いて、重度のうつ病患者と不眠症患者の心拍変動 (HRV) から測定される自律神経機能の関係性を調査している [19]。統計分析の結果、うつ病および不眠症の患者群は、就寝時の副交感神経関連の HRV 指数の有意な低下が確認された。近年のウェアラブルデバイスでは、常時心拍データの測定が可能である。そこで本研究では、DAMS スコアの高低 2 群で、Fitbit から測定可能な睡眠時の HRV 指標を比較した結果が yang らの研究結果を支持するかを仮説 3 として検証する。

仮説 3. 現在一般の消費者でも使用可能なウェアラブルデバイスで測定した HRV において、先行研究と同様の抑うつ傾向が見られるか

yang らの研究結果では、入眠から起床までの睡眠全体の期間の HRV 指標のみを比較しており、入眠直後および起床直前などの様々な区間の中で、どの区間の睡眠が抑うつに関係するかは分析していない。また、携帯型心電測定

器 [20] を用いているため、睡眠ステージと HRV を組み合わせた関係については分析できていない。よって、本研究では仮説 4 についても検証する。

仮説 4. 睡眠時の HRV において、入眠直後および起床直前のどのタイミングの HRV が DAMS の結果に影響しているか

3.2 データ収集

本研究で使用するうつ兆候検知を目標とした健常者の睡眠データは、谷らが一般企業 5 社に勤めるオフィスワーカーを対象としたセンシングプロジェクトで収集したデータセットを用いた [22], [23], [24]。谷らの研究では、より手軽で汎用的なセンシング手法の構築を目的とし、独自に開発したスマートフォンアプリケーションを用いて一般企業 5 社のオフィスワーカー 60 人を対象に 2～3 週間の日常生活における心身状態の計測を実施した。適切なデータ計測のために、データ計測期間の前に 6 日間の練習期間を設け、被験者の性別や年齢など静的特性に関する事前アンケートに回答が義務付けられている。被験者は実験中、睡眠および心拍情報を取得可能な Fitbit 生体センサを 1 日中携行しながら生活するように指示されている。

3.3 睡眠および HRV の測定方法

先行研究の多くでは、睡眠ポリグラフ検査などが行われており、睡眠ステージの測定が可能であるが、病院に設置されている専用の機器を用いる必要がある。また、yang らの研究では、HRV の測定に携帯型心電測定器 [20] を 24 時間装着して生活することを条件としているが、本研究の目標である日常生活での使用には不向きである。

本研究では、日常生活の使用において装着不可が少なく、一般的に普及している時計型ウェアラブルデバイスである Fitbit を用いて、睡眠及び心拍数の測定を行なった。Fitbit での心拍および睡眠測定は、専用の測定機器と比べて、精度面でいくつかの論文で問題が指摘されている [25]。しかし、これらの研究は、Fitbit から算出する HRV がデータの品質的に不十分なために抑うつ兆候の検知が不可能である事を示すものではない。よって、本研究では、市販のウェアラブルデバイスで取得可能な睡眠および心拍データから、うつ状態の兆候が検出可能かについても議論する。Fitbit の睡眠測定機能は、4 段階の睡眠ステージ（覚醒状態、レム睡眠、浅い睡眠、深い睡眠）の検出が可能である。睡眠ステージデータのサンプリング周波数は 1 Hz である。

心拍数の測定は、サンプリング周期 3sec で測定可能である。それらのデータを基に、式 1 より RRI を算出し、その値を用いて、HRV を算出した。

$$RRI = \frac{60}{HeartRateData} * 1000 \quad (1)$$

表 1 本研究で Fitbit の心拍データから算出する HRV 指標一覧

指標	備考
心拍数の平均	-
心拍数の標準偏差	-
ローレンツプロットの面積	迷走神経緊張強度の指標
RRI の平均値	-
SDNN	RRI の標準偏差
RMSSD	迷走神経緊張強度

HRV には、時間・周波数の 2 つの領域の指標が存在する [26] が、Fitbit のサンプリング周波数が、周波数領域の指標を算出するのに不十分であるため、本研究では時間領域の HRV のみを使用した。本研究で使用する Fitbit から算出可能な心拍データに関する指標を表 1 に示す。表 1 のローレンツプロットの面積は、HRV 指標ではないが、近年 HRV と同様に副交感神経の状態を把握する指標として注目されている [27]。ローレンツプロットの面積の算出式を式 2 に、HRV のひとつである RMSSD の算出式を式 3 に示す。

$$Area \ of \ Lorenz \ plot = \pi * \sigma(rr_i) * \sigma(rr_{i+1}) \quad (2)$$

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} * \sum_{i=1}^{N-1} (x_i - x_{i+1})^2} \quad (3)$$

3.4 アンケートデータの前処理

本研究で使用する労働衛生指標には、DAMS (Depression and Anxiety Mood Scale) [28] を用いた。DAMS は抑うつ気分と肯定的気分、および不安気分の程度を測定するための質問票であり、「はつらつとした」、「暗い」、「気がかりな」といった気分を表現する言葉について、今の自分の気分どの程度当てはまっているかを 7 段階で選択するようになっている。抑うつ気分得点は、「暗い」「沈んだ」「嫌な」の質問項目の 7 段階評価の合計であり、0 - 18 の範囲の値を取りうる。同様に、肯定的気分得点は、「楽しい」「嬉しい」「はつらつとした」の、不安気分得点は、「不安な」「心配な」「気がかりな」の合計点数である。抑うつ、肯定的、および不安気分のスコア分布を図 1, 2, 3 に示す。

本研究は、健常者の日常のうつ兆候の検知を目的としている。そのため、DAMS の各気分のスコアを中央値で区切り抑うつ、肯定、不安気分の高い群と低い群を用意し、それらの群間での睡眠および HRV の違いを分析した。分割の際の各気分（抑うつ、肯定、不安）の中央値はそれぞれ 5.0, 6.0, 7.0 であった。分析に使用するデータは前日の睡眠と起床時の DAMS の回答であり、実験期間 2 週間間の Fitbit の装着し忘れや起床時の DAMS の回答し忘れなどのデータは事前に除外した。対象被験者 60 人の実験期

表 2 DAMS の気分ごとの高低 2 群のスコア平均
抑うつ 肯定 不安

	抑うつ		肯定		不安	
	高群	低群	高群	低群	高群	低群
抑うつ	9.065	1.571	5.180	5.456	7.956	2.680
肯定	6.080	5.988	9.083	2.985	5.769	6.299
不安	10.281	4.325	6.997	7.609	11.408	3.198

問 2 週間の回答うち、有効回答数は、676 票、有効被験者数は 53 人であった。各気分の高い群と低い群の回答数はそれぞれ 338 件であった。

各気分の高い群と低い群の被験者が大きく異なる場合、高い群と低い群を比較が個人差を比較した結果となる可能性がある。そこで、それぞれの気分の高低 2 群の被験者の共通の被験者数を確認した。抑うつ高低 2 群について、53 名が回答したうち、高い群：41 名、低い群：39 名、共通 27 名であった。不安気分は、高い群：46 名、低い群：42 名、共通 35 名であった。肯定気分は、高い群：46 名、低い群：43 名、共通 36 名であった。これらの結果から、各気分の高低 2 群の被験者は半数以上は共通している事が確認されている。

3.5 評価方法

本研究では、健常者の日常のうつ兆候を発見するため、各気分の高低 2 群間の Fitbit から取得された睡眠および HRV を比較した。3.1 節にあげる仮説について、それぞれの群の睡眠ステージの時間や HRV の値などを、統計検定により有意差が存在するかを評価した。統計検定の手順をいかに示す。まずはじめに高低 2 群の特徴量ごとの分布に対して、有意水準 5% でシャピロウィルク検定により正規分布であるかの評価を行った。次に、正規分布でない場合、高低 2 群は対応のないサンプルのため、ノンパラメトリック検定であるマンホイットニーの U 検定により有意水準 1% の両側検定で評価した。正規分布の場合、ウェルチの t 検定により有意水準 1% の両側検定で評価を行った。

4. 仮説検証結果および考察

4.1 Fitbit の睡眠情報のうつ検知の可能性

仮説 1 に対して、Fitbit から取得可能な睡眠の特徴量を DAMS の抑うつ、肯定、不安の 3 つの気分の高低群で比較した結果を表 3 に示す。

全体の傾向として、肯定気分では有意差のある特徴量がレム睡眠の時間のみであった。表 3 の 13 項目の特徴量のうち、抑うつおよび不安気分の高低群でレム睡眠に関する特徴量に有意差が確認された。抑うつ気分の高低 2 群のうち、抑うつスコアが高い群のレム睡眠の時間およびその割合が低い群に比べて少なく、回数も平均 1.3 回少ない。これに関して、レム睡眠が抑うつと関係する点では、Pesonena らの先行研究 [14] と一致しているが、本研究の結果が抑うつ状態であるとレム睡眠が減少するという点では先行研究の

表 3 Fitbit から取得可能な睡眠の特徴量の比較結果
特徴量名 抑うつ 肯定気分 不安気分

特徴量名	抑うつ	肯定気分	不安気分
睡眠時間	0.277	0.013	0.033
深い眠りの回数	0.424 ¹	0.104	0.013
深い眠りの時間	0.001	0.046	0.002
浅い眠りの回数	0.502	0.370	0.421
浅い眠りの時間	0.053	0.672	0.172
レム睡眠の回数	0.000	0.031	0.002
レム睡眠の時間	0.002	0.001 ¹	0.000 ¹
覚醒状態の回数	0.019	0.204	0.051
覚醒状態の時間	0.506	0.973	0.810
深い睡眠の時間割合	0.000 ¹	0.139 ¹	0.001 ¹
レム睡眠の時間割合	0.000	0.024	0.000
浅い睡眠の時間割合	0.000	0.022	0.000
覚醒状態の時間割合	0.607	0.082	0.026

¹ シャピロウィルク検定: $p > 0.05$ より正規分布, 統計検定 t 検定

結果と異なる。

一方で、horvath らの不安気分と睡眠の統計分析の結果 [21] では、不安気分が高い場合、浅い睡眠の増加と深い睡眠の減少が報告されている。本研究の結果では、浅い睡眠と深い睡眠の時間割合において有意差が確認されており、不安気分が高い場合、3.9%の浅い睡眠の増加と 2.6%の深い睡眠の増加が確認された。これは先行研究 [21] を支持する結果となった。

以上の結果をまとめると、本研究で使用した一般的に普及している Fitbit で測定された睡眠の特徴量でも、DAMS のスコアの高低群間に有意差が確認され、抑うつ、肯定、不安の兆候を検知する事が可能となると考えられる。また、深い睡眠の減少や浅い睡眠の増加に関して、対象被験者や質問票の種類、測定機器が異なるにもかかわらず、先行研究と同様の傾向が確認されており、Fitbit による心身状態の測定の実現に大きく寄与できる。レム睡眠の特徴量については、3 つの気分で有意差が確認されたものの、睡眠の傾向が先行研究と異なる結果となった。これに関しては、先行研究 [14], [17] の多くが重度のうつ病患者を対象としている事を踏まえると、健常者の普段の睡眠のうつ兆候として同様の結果が現れるのかを考える必要がある。

4.2 Fitbit の睡眠情報とねつきおよび入眠潜時の関係

入眠・起床 1 時間の睡眠ステージの時間割合および入眠後各睡眠ステージまでの到達時間を表 4 に示す。全体の傾向として、抑うつおよび不安気分では有意差のある特徴量が多く見られたが、肯定気分では有意差の確認される特徴量が少なかった。また、入眠 1 時間の各睡眠ステージの特徴量では有意差が多く確認されたが、起床 1 時間前では有意差のある特徴量は存在しなかった。肯定気分の高低群で比較した結果のなかでも、これまで睡眠と関係する特徴量は少なかったが、表 4 の浅い睡眠になるまでの時間、つま

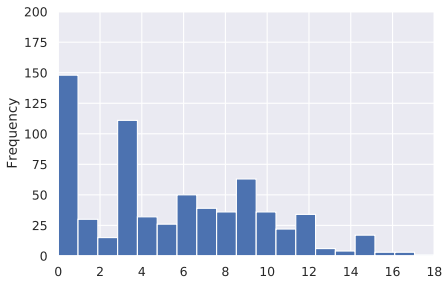


図 1 抑うつ気分得点の分布

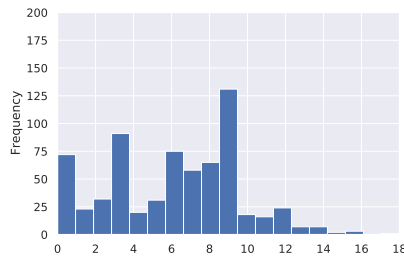


図 2 肯定気分得点の分布

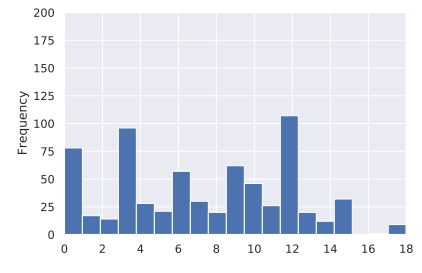


図 3 不安気分得点の分布

表 4 入眠・起床 1 時間の睡眠ステージの時間割合および入眠後各睡眠ステージまでの時間の比較結果

特徴量名	抑うつ	肯定気分	不安気分
入眠 1 時間の覚醒状態の時間	0.000	0.288	0.671
入眠 1 時間のレム睡眠の時間	0.289	0.714	0.569
入眠 1 時間の浅い睡眠の時間	0.002	0.036	0.000
入眠 1 時間の深い睡眠の時間	0.000	0.056	0.000
起床 1 時間前の覚醒状態の時間	0.253	0.757	0.242
起床 1 時間前のレム睡眠の時間	0.581	0.725	0.841
起床 1 時間前の浅い睡眠の時間	0.642	0.327	0.569
起床 1 時間前の深い睡眠の時間	0.184	0.231	0.991
覚醒状態になるまでの時間	0.588	0.015	0.037
レム睡眠になるまでの時間	0.033	0.805	0.042
浅い睡眠になるまでの時間	0.615	0.007	0.489
深い睡眠になるまでの時間	0.000	0.169	0.000

表 5 睡眠中の HRV 指標の比較結果

特徴量名	抑うつ	肯定気分	不安気分
心拍数の平均	0.028	0.354	0.135
心拍数の標準偏差	0.566	0.423	0.342
ローレンツプロットの面積	0.000	0.557	0.036
RRI の平均値	0.025	0.364	0.127
SDNN	0.004	0.884	0.022
RMSSD	0.000	0.444	0.107

り、入眠潜時が有意に異なる結果となった。これは、抑うつや肯定気分では有意差が確認されなかった事を考えると、肯定気分を判別するよい特徴量となる事が期待される。

過去の先行研究と比較した考察を以下に述べる。horvath らの研究では、不安気分の増加により入眠潜時が長くなる事が指摘されている [21] が、本研究の不安気分の分析において、深い睡眠になるまでの時間に同様の有意差が確認された。また、不安気分が高いと入眠 1 時間の浅い睡眠が約 4 分増加し、深い睡眠時間が 4 分減少している事が判明した。本研究の結果から、入眠 1 時間と各睡眠ステージの睡眠潜時の特徴量が DAMS の結果に関係している事は、起床 1 時間前の全ての特徴量で有意差がない事と比較しても、明らかである。

4.3 睡眠時の HRV

仮説 3 に対して、Fitbit から算出した睡眠時の HRV を、DAMS の抑うつ、肯定、不安の 3 つの気分の高低群で比較した結果を表 5 に示す。

DAMS では、抑うつと不安について一定の相関がある事は認められており、表 3 の睡眠の特徴量の比較では抑うつと不安で同じ特徴量で有意差が確認されている。しかし、睡眠中の HRV 指標を抑うつと、不安で確認すると抑うつで顕著に有意差が確認されている。このことから、睡眠中

の HRV 指標は、抑うつと不安気分を判別する有効な指標となると考えられる。

yang らの研究結果では、うつ病および不眠症の患者群は、就寝時の副交感神経関連の HRV 指数の有意な低下を報告している [19]。表 3 の抑うつに関係性のある特徴量は、ローレンツプロットの面積、SDNN、RMSSD である。これらの特徴量は副交感神経の強度を示すものであり、値が大きいとリラックス状態であることを示す。Fitbit から算出されたそれらの特徴量の値は、抑うつスコアの低い群で値が有意に小さい事を確認されており、yang らの結果と一致する。このことから、Fitbit から算出可能な HRV は、先行研究と同様に抑うつ度合いを測るひとつの指標として用いる事ができると言える。

4.4 入眠および起床前後の睡眠ステージの HRV の比較

仮説 4 に対して、入眠および起床前後の睡眠ステージの HRV を、DAMS の抑うつ、肯定、不安の 3 つの気分の高低群で比較した結果を表 6、7 に示す。入眠後最初の睡眠ステージの HRV を比較した表 6 のなかで、浅い睡眠と覚醒状態の HRV に有意差は確認されなかった。しかし、入眠後、1 回目の深い睡眠時に、不安気分が副交感神経に関係する HRV 指標が有意に低下する事が確認された。このことから、健常者の普段の生活の中で不安気分が高い場合、一度目の深い睡眠時にうまくリラックスした状態で寝れていない事が推測される。また、入眠後 1 度目と起床前最後のレム睡眠においても、抑うつ気分が有意差が確認された。また、抑うつ気分の高低群で、入眠後の深い睡眠の HRV に有意差は見られなかったが、起床前最後の深い睡眠時の HRV で有意差が確認された。このことから、睡眠

表 6 入眠後最初の睡眠ステージの HRV 指標の比較結果

特徴量名	抑うつ	肯定	不安
レム睡眠の心拍の平均	0.045	0.382	0.332
レム睡眠の心拍の標準偏差	0.076	0.683	0.086
レム睡眠のローレンツプロットの面積	0.001	0.317	0.033
レム睡眠の RRI の平均	0.041	0.384	0.314
レム睡眠の SDNN	0.005	0.522	0.041
レム睡眠の RMSSD	0.001	0.171	0.026
深い睡眠の心拍の平均	0.606	0.089	0.987
深い睡眠の心拍の標準偏差	0.066	0.109	0.000
深い睡眠のローレンツプロットの面積	0.019	0.688	0.001
深い睡眠の RRI の平均	0.614	0.094	0.974
深い睡眠の SDNN	0.014	0.355	0.000
深い睡眠の RMSSD	0.131	0.534	0.407
浅い睡眠の心拍の平均	0.602	0.243	0.765
浅い睡眠の心拍の標準偏差	0.350	0.780	0.082
浅い睡眠のローレンツプロットの面積	0.110	0.223	0.148
浅い睡眠の RRI の平均	0.605	0.242	0.741
浅い睡眠の SDNN	0.164	0.323	0.119
浅い睡眠の RMSSD	0.048	0.250	0.465
覚醒状態の心拍の平均	0.587	0.577	0.500
覚醒状態の心拍の標準偏差	0.567	0.546	0.507
覚醒状態のローレンツプロットの面積	0.983	0.721	0.642
覚醒状態の RRI の平均	0.563	0.558	0.497
覚醒状態の SDNN	0.981	0.921	0.431
覚醒状態の RMSSD	0.030	0.428	0.967

表 7 起床前最後の睡眠ステージの HRV 指標の比較結果

特徴量名	抑うつ	肯定	不安
レム睡眠の心拍の平均	0.011	0.535	0.045
レム睡眠の心拍の標準偏差	0.019	0.700	0.452
レム睡眠のローレンツプロットの面積	0.000	0.554	0.010
レム睡眠の RRI の平均	0.003 ¹	0.414 ¹	0.041 ¹
レム睡眠の SDNN	0.000	0.665	0.040
レム睡眠の RMSSD	0.000	0.468	0.005
深い睡眠の心拍の平均	0.076	0.110	0.024
深い睡眠の心拍の標準偏差	0.125	0.333	0.571
深い睡眠のローレンツプロットの面積	0.001	0.654	0.084
深い睡眠の RRI の平均	0.077	0.070 ¹	0.025 ¹
深い睡眠の SDNN	0.001	0.887	0.073
深い睡眠の RMSSD	0.004	0.199	0.219
浅い睡眠の心拍の平均	0.022	0.277	0.089
浅い睡眠の心拍の標準偏差	0.988	0.498	0.938
浅い睡眠のローレンツプロットの面積	0.081	0.830	0.248
浅い睡眠の RRI の平均	0.023	0.313 ¹	0.042 ¹
浅い睡眠の SDNN	0.098	0.744	0.219
浅い睡眠の RMSSD	0.071	0.955	0.456
覚醒状態の心拍の平均	0.075	0.592	0.160
覚醒状態の心拍の標準偏差	0.496	0.328	0.069
覚醒状態のローレンツプロットの面積	0.101	0.984	0.560
覚醒状態の RRI の平均	0.079	0.538 ¹	0.114 ¹
覚醒状態の SDNN	0.300	0.714	0.588
覚醒状態の RMSSD	0.027	0.868	0.635

¹ シャピロウィルク検定: p > 0.05 より正規分布, 統計検定 t 検定

ステージの最初と最後では, 抑うつや不安気分の状態により, HRV が異なる事が判明した。

5. おわりに

本論では, 一般企業 5 社に勤めるオフィスワーカー 60 人の 2 ~ 3 週間のウェアラブルデバイスから取得した日々の睡眠データを対象に, 起床時の DAMS 質問票により得られる抑うつ, 肯定, 不安気分を高低 2 群に分け, 睡眠状況にどのような違いがあるのかを明らかにした。

既存研究の多くは, 健常者のうつ予防を対象としておらず, 睡眠と HRV の組み合わせた特徴量, 睡眠状態 (入眠直後や起床前, 深い睡眠, レム睡眠) と HRV の指標の組み合わせについては分析されていない。本研究のウェアラブルデバイスで測定される日常の睡眠と HRV に基づく特徴量は, 労働衛生指標と関係する事が明らかとなった。本研究で提案した特徴量および知見は, 今後, 労働者の健康状態のモニタリングに大きく寄与できる。本研究で明らかとなった睡眠と DAMS の関係に関する知見を以下にまとめる。

- 一般的に普及している Fitbit で測定した睡眠の特徴量で, DAMS のスコアの高低群間に有意差が確認された。これらの知見は抑うつ, 肯定, 不安の兆候を検知に大きく寄与できる。
- 起床前 1 時間の睡眠ステージの特徴量は DAMS に関

係しないが, 入眠後 1 時間の浅い睡眠と深い睡眠は抑うつ・不安気分と関係している。

- 入眠潜時 (入眠後, 浅い睡眠になるまでの時間) が長い場合, 肯定気分が高くなる傾向がある。また, 抑うつと不安気分では同様の傾向が見られないため, 肯定気分を測るための良い指標となりうる。
- Fitbit により計測された睡眠時の HRV 指標の傾向は, EEG により測定した副交感神経に関係する HRV 指標の低下を報告した先行研究と一致した。このことから比較的安価で企業や個人が導入可能なデバイスで測定可能な HRV を用いて, EEG による測定と同様の抑うつ状態のモニタリングが可能である。
- 睡眠時の HRV は, DAMS の抑うつ気分を測るためのよい指標となる事がわかった。
- 睡眠全体の中で, 睡眠ステージの最初と最後では, 抑うつや不安気分の状態により, HRV が異なる事が判明した。それらの情報を用いることで, 労働者の高精度なモニタリングが可能となる。

謝辞

本研究の一部は JST さきがけの支援のもと実施されている。また本実験は, 株式会社 NTT データ経営研究所が事務局を務める「応用脳科学コンソーシアム (CAN)」の

産学連携研究会「IoT-NA 研究会」の参画企業と連携して実施したものである

参考文献

- [1] WHO:WORK ORGANIZATION & STRESS. available from https://www.who.int/occupational_health/publications/pwh3rev.pdf (accessed 2020-9-20).
- [2] 労働安全衛生法に基づくストレスチェック制度 について 実施マニュアル 改訂 平成 28 年 4 月 厚生労働省労働基準局安全衛生部労働衛生課産業保健 支援室 . available from <https://www.mhlw.go.jp/content/000533925.pdf> (accessed 2020-8-20).
- [3] ストレスチェック制度に関する法令. available from <https://www.mhlw.go.jp/content/11300000/000544659.pdf> (accessed 2020-8-20).
- [4] Norio Sugawara, Manabu Saito, and Kazuhiko Nakamura. What is the purpose of the stress check program? *Journal of occupational health*, Vol. 58, No. 6, pp. 653–655, 2016.
- [5] Mayumi Fukuyama. Society 5.0: Aiming for a new human-centered society. *Japan Spotlight*, Vol. 27, pp. 47–50, 2018.
- [6] Waguih W Ishak, Kara Bagot, Shannon Thomas, Naira Magakian, Dina Bedwani, David Larson, Alexandra Brownstein, and Christine Zaky. Quality of life in patients suffering from insomnia. *Innovations in clinical neuroscience*, Vol. 9, No. 10, p. 13, 2012.
- [7] Sergio Garbarino, Paola Lanteri, Paolo Durando, Nicola Magnavita, and Walter G Sannita. Co-morbidity, mortality, quality of life and the healthcare/welfare/social costs of disordered sleep: a rapid review. *International journal of environmental research and public health*, Vol. 13, No. 8, p. 831, 2016.
- [8] 土井由利子. 日本における睡眠障害の頻度と健康影響. *J. Natl. Inst. Public Health*, Vol. 61, p. 1, 2012.
- [9] Mary Ellen Wells and Bradley V Vaughn. Poor sleep challenging the health of a nation. *The Neurodiagnostic Journal*, Vol. 52, No. 3, pp. 233–249, 2012.
- [10] Addo Bofo, Roseanne Armitage, Stephanie Greenham, Paniz Tavakoli, Alyson Dale, Ashley Nixon, Alexandre Lafrenière, Laura B Ray, Joseph De Koninck, and Rébecca Robillard. Sleep architecture in adolescents hospitalized during a suicidal crisis. *Sleep medicine*, Vol. 56, pp. 41–46, 2019.
- [11] Annina Ropponen, Mikko Härmä, Barbara Bergbom, Jouko Nätti, and Mikael Sallinen. The vicious circle of working hours, sleep, and recovery in expert work. *International journal of environmental research and public health*, Vol. 15, No. 7, p. 1361, 2018.
- [12] David Nutt, Sue Wilson, and Louise Paterson. Sleep disorders as core symptoms of depression. *Dialogues in clinical neuroscience*, Vol. 10, No. 3, p. 329, 2008.
- [13] Norifumi Tsuno, Alain Besset, and Karen Ritchie. Sleep and depression. *The Journal of clinical psychiatry*, 2005.
- [14] Anu-Katriina Pesonen, Michael Gradsar, Liisa Kula, Michelle Short, Ilona Merikanto, Riin Tark, Katri Räikkönen, and Jari Lahti. Rem sleep fragmentation associated with depressive symptoms and genetic risk for depression in a community-based sample of adolescents. *Journal of affective disorders*, Vol. 245, pp. 757–763, 2019.
- [15] Adam Hege, Michael K Lemke, Yorghos Apostolopoulos, Brian Whitaker, and Sevil Sönmez. Work-life conflict among us long-haul truck drivers: Influences of work organization, perceived job stress, sleep, and organizational support. *International journal of environmental research and public health*, Vol. 16, No. 6, p. 984, 2019.
- [16] Aaron T Beck, Robert A Steer, and Gregory Brown. Beck depression inventory ii. *Psychological Assessment*, 1996.
- [17] Laura Palagini, Chiara Baglioni, Antonio Ciapparelli, Angelo Gemignani, and Dieter Riemann. Rem sleep dysregulation in depression: state of the art. *Sleep medicine reviews*, Vol. 17, No. 5, pp. 377–390, 2013.
- [18] Christine E Gould, Rosy Karna, Josh Jordan, Makoto Kawai, Rayna Hirst, Nathan Hantke, Sophia Pirog, Isabelle Cotto, Sophia Miryam Schussler-Fiorenza Rose, Sherry A Beaudreau, et al. Subjective but not objective sleep is associated with subsyndromal anxiety and depression in community-dwelling older adults. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, Vol. 26, No. 7, pp. 806–811, 2018.
- [19] Albert C Yang, Shih-Jen Tsai, Cheng-Hung Yang, Chung-Hsun Kuo, Tai-Jui Chen, and Chen-Jee Hong. Reduced physiologic complexity is associated with poor sleep in patients with major depression and primary insomnia. *Journal of affective disorders*, Vol. 131, No. 1-3, pp. 179–185, 2011.
- [20] MyECG E3-80 Portable Recorder. available from <https://www.taiwanexcellence.org/en/award/product/23068> (accessed 2020-8-20).
- [21] András Horváth, Xavier Montana, Jean-Pol Lanquart, Philippe Hubain, Anna Szűcs, Paul Linkowski, and Gwenolé Loas. Effects of state and trait anxiety on sleep structure: A polysomnographic study in 1083 subjects. *Psychiatry research*, Vol. 244, pp. 279–283, 2016.
- [22] 谷優里, 松田裕貴, 河中祥吾, 大坪敦, 平野陽大, 荒川豊, 安本慶一ほか. オフィスワーカーの心身と環境センシングのためのアプリケーションの開発と評価. 研究報告モバイルコンピューティングとパーベイシブシステム (MBL), Vol. 2019, No. 34, pp. 1–7, 2019.
- [23] 谷優里, 松田裕貴, 荒川豊, 井上創造. 労働衛生に関するアンケートとモバイルセンサデータの統合的・継続的な収集. マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2019 論文集, pp. 1027–1034, 2019.
- [24] Yuri Tani, Shuichi Fukuda, Yuki Matsuda, Sozo Inoue, and Yutaka Arakawa. Workersense: Mobile sensing platform for collecting physiological, mental, and environmental state of office workers. In *2020 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, pp. 1–6. IEEE, 2020.
- [25] Simone Benedetto, Christian Caldato, Elia Bazzan, Darren C Greenwood, Virginia Pensabene, and Paolo Actis. Assessment of the fitbit charge 2 for monitoring heart rate. *PloS one*, Vol. 13, No. 2, p. e0192691, 2018.
- [26] Marek Malik and A John Camm. Heart rate variability. *Clinical cardiology*, Vol. 13, No. 8, pp. 570–576, 1990.
- [27] Fumi Toyofuku, Kazuhiko Yamaguchi, and Hiroshi Hagiwara. Simplified method for estimating parasympathetic nerves activity by lorenz plot of eeg rr intervals. *The Japanese Journal of Ergonomics*, Vol. 42, No. Supplement, pp. 512–515, 2006.
- [28] Lee Anna Clark. The anxiety and depressive disorders: Descriptive psychopathology and differential diagnosis. 1989.