

平成 28-30 年度厚生労働科学研究費補助金（安全衛総合事業）

「労働生産性の向上に寄与する健康増進手法開発研究」

（H28-労働 一般 -004）

主任：島津明人

分担研究報告書

労働生産性の生体工学指標の検討

分担研究者 荒川豊（奈良先端科学技術大学院大学・先端科学研究科・准教授）

研究要旨：メンタルヘルスのチェックは、本人が自己的に認識するか、定期的に産業医などに介入してもらうしかない。その時、残業時間と比較されることが多いが、それはたまたま管理しやすい指標がタイムカードで保存されている勤務時間というだけであり、ストレスと残業時間との明確な関連性はない。また、本人の自己認識は、過去の苦い経験に基づくことが多く、ストレスで障害が出るまで気づかないことが多い。そこで、本研究では、メンタルヘルスを含む労働生産性を定量的に計測、比較できる指標を見つけることを目的とする。

初年度の平成 28 年度では、メンタルを含む様々なストレスに対して、どのようなセンサであれば定量的に計測できるのかについて、広く調査を行った。そして、現在市販されているデバイスで、計測が難しいストレスと計測可能性のあるストレスを明らかにした。

2 年目の平成 29 年度では、初年度の調査に基づき、センサを用いて、生体工学指標と成り得る数値（心拍数や歩数など）とともに、標準的な質問票を用いて Quality of Life（QoL）と体調の計測を行い、これまでの質問票で行われていた調査とセンサに寄る推定結果との比較を行った。その結果、QoL については紙ベースの主観的なアンケートの 60% 以上の項目に関して、心拍センサと加速度センサで推定可能（精度は 8 割程度）であることを明らかにした。

最終年度の平成 30 年度は、2 年目に開発した計測システムを汎用化することに取り組んだ。具体的には、QoL 以外の調査票、および、市販されている一般的なウェアラブルセンサ（具体的には Fitbit Charge3）に対応した。さらに、温湿度や騒音などの環境要因についても同時に調査可能にした。そして、一般企業で働く従業員に 60 名に対する実験を通じて、その可用性と課題を明らかにした。

A. はじめに

2016 年の法改正により、50 人以上の従業員を雇用しているすべての企業において、従業員のメンタルヘルスチェックが義務化

されている。しかしながら、そのチェック手法は、Web アンケートによる自己報告にとどまっている。しかしながら、メンタルヘルス不調の要因となるストレスや生活の不規則

さなどを、自身で気づき、未然に防ぐことは難しい。また、メンタルヘルスだけではなく、プレゼンティーズムやワーク・エンゲージメントなど労働生産性に関する調査も質問紙調査票ベースの指標が一般的である。こうした Web アンケートや質問紙調査票は、大きなグループの実態調査には適しているものの、データ収集のコストが高く、1年に1回の調査といった具合でフィードバックの頻度が少ない。また、得られる情報は、定性的な情報であり、自身の過去の状態との比較、あるいは他人との比較も難しい。

そこで本分担研究では、何らかのセンサを用いて人の状態を計測し、メンタルヘルス不調との関連性を明らかにすることを目的とする。最終的には、そのデータを用いて、メンタルヘルス不調を予知するための定量的な指標を見いだすことを目指す。

初年度の平成 28 年度では、メンタルを含む様々なストレスに対して、どのようなセンサであれば定量的に計測できるのかについて、文献及び市場の調査を行った。そして、現在市販されているデバイスで、計測が難しいストレスと計測可能性のあるストレスを明らかにした。

2年目の平成 29 年度では、初年度の調査に基づき、2年目ではセンサを用いて、生体工学指標と成り得る数値（心拍数や歩数など）とともに、標準的な質問票を用いて Quality of Life (QoL) と体調の計測を行い、これまでの質問票で行われていた調査とセンサに寄る推定結果との比較を行った。その結果、QoL については紙ベースの主観的なアンケートの 60%以上の項目に関して、心拍センサと加速度センサで推定可能（精度は 8 割程度）であることを明らかにした。

最終年度の平成 30 年度は、2年目に開発した計測システムを汎用化することに取り組んだ。具体的には、QoL 以外の調査票、および、市販されている一般的なウェアラブルセンサ（具体的には Fitbit Charge3）に対応した。さらに、温湿度や騒音などの環境要因についても同時に調査可能にした。そして、一般企業で働く従業員に 60 名に対する実験を通じて、その可用性と課題を明らかにした。

B. 方法

1. 労働生産性に影響のある体調の選定とセンサによる計測可能性調査（平成 28 年度）

体調の不具合にも様々な原因があり、どの原因が労働生産性にどの程度影響があるのかを知る必要がある。プレゼンティーズムとアブセンティーズムの既存研究では、体調と労働生産性への影響に関して、調査しているものがある。本章ではその結果を用いて、労働生産性に影響のある体調の選定を行う。

2. センサによる質問調査票代替システムのフィージビリティ調査（平成 29 年度）

質問調査票で調査される指標として Quality of Life (QoL) に着目し、通常の質問票による調査に加え、生体工学指標と成り得る数値（心拍数や歩数など）を収集した。調査票の回答と、その時のセンサデータを機械学習することにより、センサデータからどの程度推定できるのかを調査する。

3. 汎用的な調査システムの構築と実企業での実験（平成 30 年度）

2年目に実施した調査を QoL 以外の調査票、および、市販されている一般的なウェア

ラブルセンサ（具体的には Fitbit Charge3）でも実施できるアプリケーションを開発する。心身状態だけではなく、温湿度や騒音などの環境要因についても同時に調査可能なシステムへと発展させ、一般企業で働く従業員に 60 名に対する実験を通じて、その可用性と課題を明らかにする。

C. 結果

1. 労働生産性に影響のある体調の選定とセンサによる計測可能性調査（平成 28 年度）

種々の文献を調査し、労働生産性に影響のある体調として、「不安・抑うつ」、「肩こり・腰痛」、「鼻炎」、「疲労」、「睡眠障害」、「腹痛」、「頭痛」の 7 種類があることがわかった。

次に、それぞれの体調に対して、ウェアラブル機器で測定できる可能性について調査した。その結果、この中で最も計測がしやすいのは、「睡眠」となる。これは、睡眠計を搭載したスマートウォッチや活動量計が広く売られているからである。次に、心理的なストレス計測（Physiological Measure）である「不安・抑うつ」や身体的なストレス計測（Physical Measure）である「疲労」なども、スマートウォッチに搭載された GPS や心拍計によって推定可能する研究が報告されている。

結果として、「不安・抑うつ」、「疲労」、「睡眠障害」に関しては、計測できる可能性があるものの、他の体調に関しては現在の技術では計測が難しいということがわかった。中でも、計測可能性が高く、労働生産性に対する影響が大きな体調としては、「不安・抑うつ」が筆頭であり、これらをセンサを活用して、定量的に計測できることが労働者の健康増進に繋がると言える。

2. センサによる質問調査票代替システムのフィージビリティ調査（平成 29 年度）

HRQOL (Health Related Quality of Life)

とは、健康に関係のある QoL を表す指標であり、肉体的、心理的健康、社会的関係、経済的および職業的地位などの生活の質を評価するのに有効である。HRQOL の低下は、身体的、精神的、社会活動的な能力の減衰を意味しており、この数値を把握することが労働生産性の向上に繋がると考えられる。

HRQOL の評価手法としては、調査票が用いられるが、調査票の問題として、質問項目数が多く、回答に手間がかかることが挙げられる。例えば、SIP は 136 項目、SF-36 は 36 項目、WHOQOL は 100 項目の質問から構成されている。WHOQOL-BREF は WHOQOL を簡略化したものであるが、それでも質問数は、26 項目にのぼる。そのため HRQOL を定期的に評価することは難しく、一般的には、何らかの施策（例えば自己啓発セミナーなど）の前後と 1 ヶ月後で 3 回の調査というような形態が多い。また、調査票形式の評価自体の問題として、自力で回答ができない人に対応ができない点、想起バイアスや記憶の限界、気分一致効果が生じる点などがある。

そこで、本研究では、近年普及著しい心拍計や活動量計などのセンサを搭載したウェアラブル機器を用いて、調査票と同等の測定ができないかについて検討した。定量的な数値データから HRQOL を評価できれば、日々の QOL 変化を継続的に観測するといったことが可能になる。

提案システムは、多種類のセンサを備えたスマートデバイスと機械学習から構成される。スマートデバイスとしては、Empatica 社の E4 wristband とスマートフ

オンを利用する。E4 wristband には、加速度 (ACC)、皮膚電気活動 (EDA)、容積脈波 (BVP)、心拍数 (HR)、心拍間隔 (IBI)、皮膚体温 (TEMP) という 6 つのセンサを搭載した腕時計型のデバイスである。スマートフォンにも、多数のセンサが搭載されているが、本研究では位置情報 (GPS) だけを利用している。これらのデータを記録しながら、毎日、WHOQOL-BREF の調査票を用いて、日々の HRQOL を評価する。そして、機械学習を用いて、計測したセンサデータの値と HRQOL の評価値との関係性をモデル化する。

評価実験では、23 歳の男性被験者 1 名が E4 wristband とスマートフォンを装着、保持して半年間生活し、その間の生体センサデータと HRQOL 評価値を収集した。データ欠損日などを除き、最終的にはのべ 150 日分のデータとなった。これらのデータを Random Forest アルゴリズムによって学習させ、HRQOL 推定モデルを構築する。評価は、推定対象日を除くデータで学習し、対象日の HRQOL を推定する Leave-one-out 交差検証で行い、その精度を評価する。

その結果、相関係数 0.646 で正解値を追従できることを明らかにした。また、設問毎に見た場合、WHOQOL-BREF の設問 26 問のうち、センサによる評価がうまくいく問題とそうでない問題があることが明らかになった。センサによる推定で不正解となる確率が高い 9 問を従来の調査票方式と仮定した場合、残り 17 問に対しては相関係数 0.912 で追従できることがわかった。その結果、スマートデバイスを用いることにより、1 日あたりの設問数を 10 問以下に減らしても、HRQOL を評価可能であることを明らかにした。

3. 汎用的な調査システムの構築と実企業での実験 (平成 30 年度)

3 年目では、WHOQOL-BREF 以外の調査票に対する、センサによる定量評価の可能性調査を実現するためのデータ計測プラットフォーム WorkerSense を構築した。その際、2 年目のフィージビリティ・スタディによって得られた知見を生かして、以下に示す要件を満たすように設計した。

- 一般的なセンサによる計測
調査票を用いた計測では、1000 人規模で行われることもあり、センサを用いる場合もできるだけ多くのデータを集められるようにする必要がある。そのため、高価なセンサではなく、少なくとも、広く普及したセンサを用いる必要がある。
- 環境センサへの対応
労働者に装着するセンサから得られる歩数や心拍、睡眠といったデータに加えて、温湿度や明るさ、騒音といった職場環境も、労働生産性を測る上で重要な情報源となりうる。
- 複数の調査票への対応
紙の調査票に対する提案システムのアドバンテージとして、スマートフォンのアプリで手軽に回答できることが挙げられる。
- 一般社員での計測
労働者の中には、スマートフォンに慣れていない人も含まれるため、簡単に利用できるシステムである必要がある。

そして、提案システムの可用性を検証するために、実際にデータ収集を行う実験を行った。実験では、一般的な社員 60 名開発したアプリケーション、Fitbit、そして環境センサを配布し、2 週間に渡って計測を依頼した。質問票は、ワークエンゲイジメント、WHO-HPQ、DAMS (Depression and Anxiety Mood Scale) などを組み合わせたものを用意し、起床時、9 時、12 時、18 時、20 時、就寝時と、1 日 6 回に分けて質問を行った。1 日あたりの延べ質問数は約 130 問となる。実験に先立ち、一般社団法人医療健康資源開発研究所の倫理審査の承認を得ている。

実験協力者は、一般企業 4 社から、計 60 名に依頼した。うち、男性が 46 名となっており、男性が多かった。年齢分布では、20 代 9 名、30 代 20 名、40 代 18 名、50 代 13 名となっている。また、単身者は 10 名である。提案システムを用いた調査では、毎日 6 回配信される日々のアンケートがどの程度回答されるか、あるいは未回答なのか、ということがシステムの可用性を示す。結論から言うと、全体の回答率は 64.98% となった。回答率が高かったのは、就寝直前と起床直後であり、それぞれ、77%、71% となった。それに対して、日中は、工作中ということもあり、若干回答率が低かった。企業毎に見ると、回答率に顕著な差が見られて、回答率の高い企業はどの時間帯も高く、低い企業は常に低い結果となった。

収集したデータを用いて、個別の回答とそのときの生体センサとの関連性の分析はこれからである。しかしながら、開発したプラットフォームを用いることで、さまざまな質問票と同時に生体センサ情報を簡単に収集できる環境を整えることに成功したこ

とで、今後は、より多くの企業や環境でデータ収集を行えるツールが完成したと言える。

D. 考察

3 年間で、調査、フィージビリティ、プラットフォームの構築と進めてきた。最終的に構築したプラットフォーム Worker Sense は、初期配布時には、設定に関して、エラーが出ることがあったり、開発側が予期しない操作をされることがあったが、一般社員 60 名から 2 週間に渡るデータ収集を確実にできることを実証した。

収集されたデータは、膨大かつ多様であり、どの質問をどのセンサで代替可能であるかについての分析については、引き続き検証を進めていく。同時に開発したプラットフォームを用いて、データ数を増やしていきたいと考えている。

今回、被験者を提供してくれた企業は、このような生体センサ情報を用いた心身状態計測に興味がある企業であるが、今後、広く展開していく際には、監視されている、と嫌悪感を抱く労働者も出てくる可能性がある。そのため、セルフケアの観点から、スマートデバイスで定常的にチェックしていくことのメリットを示していくことが普及のために重要であると考えられる。

E. 結論

本分担研究では、生体センサを用いて、心身状態を定常的かつ定量的に計測、比較できる指標を発見することを目的として、調査、フィージビリティ、プラットフォームの構築と進めた。

初年度の平成 28 年度では、労働生産性に影響を与える心身状態についてまとめ、それぞれの状態に対して、市販されていい

るセンサやデバイスでの計測可能性について調査した。

2年目の平成29年度では、初年度の調査に基づき、センサを用いて、生体工学指標と成り得る数値（心拍数や歩数など）とともに、標準的な質問票を用いたフィジビリティ・スタディを実施した。質問票としては、Quality of Life (QoL) を計測するWHOQOL-BREFを対象として、紙ベースの主観的なアンケートの60%以上の項目に関して、心拍センサと加速度センサで推定可能（精度は8割程度）であることを明らかにした。

最終年度の平成30年度は、2年目に開発した計測システムを汎用化することに取り組んだ。具体的には、QoL以外の調査票、および、市販されている一般的なウェアラブルセンサ（具体的にはFitbit Charge3）に対応した。さらに、温湿度や騒音などの環境要因についても同時に調査可能にした。そして、一般企業で働く従業員に60名に対する実験を通じて、その可用性と課題を明らかにした。

F. 健康危険情報

該当せず。

G. 研究発表

1. 論文発表

荒川豊, “センサを用いた従業員の健康管理,” 健康いきいき職場づくりフォーラム, 事例・研究トピックス, 2017年10月1日.

荒川豊, “センサを用いたストレス計測に関する文献レビュー,” 産業精神保健, Vol.26, No.2, pp.158-163, 2018年4月20日.

荒川豊, “Persuasive System Design の紹

介～行動変容を誘発する情報システムの在り方～,” 健康いきいき職場づくりフォーラム, 事例・研究トピックス, 2018年12月10日.

2. 学会発表

雨森千周, 水本旭洋, 荒川豊, 安本慶一, “WHOQOL-BREFに基づくHRQOL評価におけるスマートデバイスを用いた簡易計測手法の提案,” 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2017) シンポジウム, 2016年6月28日-30日.

荒川豊, “生体センサリングからみた健康いきいき,” 健康いきいき職場づくりフォーラム秋季定例セミナー「健康いきいきを科学する」, 2016年10月17日.

高橋雄太, 水本旭洋, 荒川豊, 安本慶一, 労働生産性改善に向けたウェアラブル機器を用いた体調推定法の検討,” 情報処理学会 MBL 研究会 WiP セッション, 2016年12月7日, 金沢市.

荒川豊, “[招待講演]オフィス環境におけるコンテキストセンシングと行動変容-情報技術によるスマートオフィスの実現に向けて-,” 日本行動医学会第24回学術総会, 2017年12月2日.

音田恭宏, 水本旭洋, 荒川豊, 荒川周造, 中島千尋, 小花光広, 上西基弘, 安本慶一, “椅子に装着したモーションセンサを用いた着座姿勢推定手法,” 電子情報通信学会ライフインテリジェンスとオフィス情報システム研究会, 2017年3月2日, 石垣市.

C. Amenomori, T. Mizumoto, H. Suwa, Y. Arakawa, K. Yasumoto, “A Method for Simplified HRQOL measurement by

Smart Devices,” 7th EAI International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare (MobiHealth 2017), November 2017.

荒川豊, “センサによるコンテキスト認識と行動変容～情報技術によるスマートオフィスの実現に向けて～,” 第26回日本産業ストレス学会, 2018年12月1日.

荒川豊, “オフィスにおける従業員のメンタル状態センシングと行動介入,” JST-NSF-DATAIA 国際連携シンポジウム～IoT が切り拓く未来～, 2019年3月11日.

Yutaka Arakawa, “[Keynote] Integration of Spoken Dialogue System and Ubiquitous Computing,” The 1st International Workshop on Pervasive Computing and Spoken Dialogue Systems Technology (PerDial 2019) in conjunction with the IEEE PerCom 2019, March 15, 2019.

H. 知的財産権の出願・登録状況
着座姿勢判定装置、椅子、着座姿勢判定方法、プログラム, 特願 2016-215494

I. 引用文献

なし