

平成 29 年度厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）  
「労働生産性の向上に寄与する健康増進手法の開発に関する研究」  
（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・情報科学研究科・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、Quality of Life（QoL）と体調の計測を行った。さらに、取得したデータを用いて、容易に取得可能な生体工学指標を用いて、計測が難しい QoL や体調を推定、さらに予測ができないか検討した。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。また、体調については、過去 3 日分の心拍センサ、歩数、睡眠情報を用いることで 9 割以上の精度で推定可能であることを明らかにした。

A．はじめに

さまざまなセンサの普及と、コンピュータを用いたパターン認識技術（世間ではこれを人工知能や AI と呼ぶ）の進展により、人間自身の状態を計測、認識することが可能になっている。最も普及しているものは、Fitbit に代表される小型活量計（アクティビティトラッカー）である。心拍センサや加速度センサが内蔵されており、加速度から歩行状態や睡眠状態を認識可能になっている。また、最近では、Apple Watch の心拍センサと AI を組み合わせることで、睡眠時無呼吸症、高血圧症、そして、糖尿病を検出できることも示されている。

労働生産性の観点からは、こうした小型デバイスを用いて、ストレス、感情、メンタルヘルス、幸福度といった、人の内面的な状態の認識をできないかと期待されている。中でも、本研究では、HRQOL（Health Related Quality of Life）と主観的な「体調」に着目している。HRQOL 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。一方、体調とは、自分自身で認識可能な、フィジカルとメンタルの状態に関する主観的な指標である。HRQOL と異なり、自分自身の生活習慣に起因することが多いと考えている。逆に言えば、自身で制御することも可能であり、規則正しい生活により労働生産性が向上すると期待できる。

B．センサを用いた HRQOL の推定

HRQOL とは、Health Related Quality of Life の略称であり、さまざまな QoL 指標の中でも主観的健康観や、毎日の仕事、梶、社会活動への影響を定量化したものである。HRQOL の評価手法としては、調査票が用

いられる。代表的な調査票としては、Sickness Impact Profile (SIP)<sup>[1]</sup>、Short Form-36 (SF-36)<sup>[2]</sup>、WHOQOL<sup>[3]</sup>、WHOQOL-BREF<sup>[4]</sup>などが存在する。

これらの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、生体センサを用いることで、調査票ベースの評価の代替となるようなHRQOL評価手法を検討した。近年、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が普及しており、これらから得られる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。

提案手法は、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とスマートフォンを利用する。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。これらのセンサから得られる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。

そして、実験を通じて、有効なセンサデータとその特徴量を明らかにすると共に、既存の調査票の中でセンサを用いて推定可能な項目を明らかにする。

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。

特徴量としては、それぞれのセンサ値に対して、合計、平均、中央値、標準偏差、分散、最大値、最大値の7つ特徴量を求めた。動きを表す、加速度センサについては、XYZ3軸の合成加速度を利用している。また、容積脈波センサ値を元に算出したLF/HF比やGPSセンサ値を元に算出した、一日の総移動距離や、自宅周辺での移動距離、自宅滞在時間、職場滞在時間、就寝場所（大学生は研究室に宿泊することがあるため）一日の中で起床位置から最遠位置までの距離も特徴量として加える。さらに、活動時間や当日、前日の睡眠時間も特徴量の1つとして組み込んでいる。

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。

また、精度改善のために、設問毎に重要度の高い特徴量とそうでない特徴量を、ジニ係数を用いて選定し、最も精度が高くなる特徴量の組み合わせを用いる。

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。

追加実験として、学習期間を減らした場合や、センサ数の少ない安価なデバイスを用いた場合についても評価した。学習日数が、10日、20日と増えるにつれて、相関係数は、0.2超から0.5に向かって精度が改善していくが、40日目以降は増減を繰り返し、

性能が頭打ちになることがわかった。

安価なデバイスでは、E4 wristband に搭載されるような皮膚電気活動センサや容積脈波センサなどは搭載されておらず、加速度センサや心拍センサのみが搭載されている。そこで、データセットの中から、安価なデバイスであっても選定できるセンサ値のみ利用して、同様の分析を行なったところ、平均精度の差は極めて小さかったため、安価なデバイスでも十分に推定可能であることがわかった。

### C . センサを用いた体調の推定と予測

もう一つの研究として、体調の予測に取り組んだ。体調とは、メンタル面とフィジカル面の両方からなる主観的な健康状態のことである。主観的な状況であるため、8 時間寝ると体調がいいと感じる人もいればそうでない人もいるし、6 時間でも体調がいい日があるかもしれないため、単一のセンサで推し量ることが難しい。

我々は、日々の生活周期・生活習慣が体調に影響していると仮定し、ウェアラブルデバイスを用いてライフログを計測すればそこから体調不良に影響する因子を見いだせるのではないかと考えた。

今回の実験では、安価なウェアラブルデバイスとして、Sony 社の SmartBand2 を利用し、心拍数、睡眠、歩数に関する情報を収集した。同時に、フィジカルヘルスとメンタルヘルス、体調不良の度合いを 1 日に一度、主観的に入力してもらった。質問の内容としては、健康的に過ごせたと思うか、疲れが残っているかというような一日の所感に関して 6 項目、作業中の生産性は高かった、作業中に眠くなったなどの労働に関わる質問が 12 項目、の計 18 項目から構成されている。これらのアンケートは、実施内容 B) のように標準化された調査票ではなく、独自に設計したものである。その理由は、体調という曖昧かつ主観的な指標に対応した調査票がなかったためである。

安価なデバイスを用いたことにより、こちらの項目については、10 名の被験者で計測を行うことが可能になった。被験者はすべて男性で、24.2 歳  $\pm$  2 歳の大学院生であり、2017 年 11 月 23 日から 12 月 10 日までの約 90 日間分のデータを収集した。データの欠損やスマートフォンの破損による途

中離脱などを除き、述べ 320 日分のライフログと、310 日分のアンケートが得られた。

ライフログから算出する特徴量としては、予測日の前 3 日分のデータを用い、いくつかの時間単位における平均、標準偏差、最小、最大といった値を用いる。時間単位としては、3 時間毎、6 時間毎、12 時間毎、24 時間毎の 4 パターンとし、短期的に変化するものと長期的に変化するものに対応している。また、基準日と 1 日前、基準日と 2 日前などで相関係数を求め、生活周期に関する特徴量として加える。最終的には、3 日分のデータから 780 項目の特徴量が得られる。

体調の正解データとしては、日々のアンケートをもとに、体調が悪い、普通、良い、の 3 段階に分類したものを利用し、機械学習を用いて、推定モデル（今日の体調がどうか）と、予測モデル（明日の体調がどうなりそうか）の構築を行なった。SMOTE フィルタによって、オーバーサンプリングし、ラベル（良い悪いなどの正解値）の数を均一にし、学習・評価している。分類モデルとしては、Random Forest（RF）、AdaBoost（AB）、Support Vector Machine（SVM）の 3 種類を用い、Leave-One-Out-Cross-Validation により評価する。

その結果、フィジカルヘルスの推定結果の F 値は、RF で 77.6%、AB で 65.2%、SVM で 88.1%の精度となった。予測の方は、RF で 74.6%、AB で 65.0%、SVM で 84.0% となり、いずれについても SVM が有効であることがわかった。メンタルヘルスの推定および予測においても、SVM が最も優れた性能を達成し、それぞれ、93.1%、94.1%の精度となった。

### D . 結論

本研究では、一年目の調査から発展させ、ウェアラブル機器を用いて、実生活内で生体データ及び行動データを収集し、そのデータに基づいて、労働生産性の関係する HRQOL と体調の推定と予測を行う技術を開発した。HRQOL については、旧来の調査票 26 項目中 17 項目についてはセンサで補完可能であることがわかり、体調についてはフィジカルヘルスとメンタルヘルスを 88.1%、93.1%で推定可能であることを示し

た。さらに、次の日の体調についても同程度の精度で予測可能であることを示した。

E．健康危険情報  
該当せず。

F．研究発表  
1．論文発表  
なし

2．学会発表

- [1] 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.
- [2] 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 (DICO2017) シンポジウム, 2016 年 6 月 28 日-30 日.

G．知的財産権の出願・登録状況  
なし

H．引用文献

- [1] Gilson, Betty S., et al. "The sickness impact profile. Development of an outcome measure of health care." American Journal of Public Health 65.12 (1975): 1304-1310.
- [2] Ware, John E., and Barbara Gandek. "Overview of the SF-36 health survey and the international quality of life assessment (IQOLA) project." Journal of clinical epidemiology 51.11 (1998): 903-912.
- [3] Whoqol Group. "The World Health Organization quality of life assessment (WHOQOL): position paper from the World Health Organization." Social science & medicine 41.10 (1995): 1403-1409.
- [4] Whoqol Group. "Development of the World Health Organization WHOQOL-BREF quality of life assessment." Psychological medicine 28.3 (1998): 551-558.