

修士論文

スマートデバイスを用いた
HRQOL 簡易評価手法

雨森 千周

2018 年 2 月 1 日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報科学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
修士(工学) 授与の要件として提出した修士論文である。

雨森 千周

審査委員：

安本 慶一 教授	(主指導教員)
金谷 重彦 教授	(副指導教員)
荒川 豊 准教授	(副指導教員)
諏訪 博彦 助教	(副指導教員)
水本 旭洋 特任助教	(副指導教員)

スマートデバイスを用いた HRQOL 簡易評価手法*

雨森 千周

内容梗概

長期に渡る過度のストレスを抱えた生活は、身体的、精神的機能の低下に繋が
り、うつ病、認知症、生活習慣病といった疾病を引き起こす可能性がある。この
問題を解決するためにはこれらの機能の低下兆候を早期に特定することが重要
となる。健康に関連のある QOL（Health Related Quality of Life : HRQOL）は
主観的健康感や、毎日の仕事、家事、社会活動への影響度を定量化したものであ
り、継続的に計測することで、身体的、精神的、社会的活動能力が減退し始める
兆候の発見と予防に繋げる事ができる可能性がある。しかしながら、既存手法で
は HRQOL を評価するために多数のアンケート項目に回答する必要があり、毎日
の測定は負担が大きい。また、スマートデバイスを使用した生活行動の評価手法
も提案されているが、評価手法を独自に設けている、特定の行動のみを対象とし
ているため、生活全体の質を評価するには不十分である。

本研究では、HRQOL 評価値を継続的に測定するために、スマートデバイスを用
いてアンケートへ回答する負担を軽減する HRQOL 簡易評価手法を提案する。
本手法では HRQOL 評価手法の一つである WHOQOL-BREF を対象に、その回
答値（教師データ）と、スマートフォンとリストバンド型ウェアラブルデバイス
から得られるデータをもとに各質問事項への回答値を推定する機械学習モデルを
構築する。

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報科学専攻 修士論文, NAIST-IS-MT1651003,
2018 年 2 月 1 日.

本手法の実現可能性を評価するために、半年間一人の被験者からデータ収集を行い、評価実験を行った。実験結果として、特徴量を選定した推定モデルでは相関係数 0.646 で正解値を追従できることを確認し、重要度の高い特徴量が設問ごとに異なる傾向があることを明らかにした。また、簡易化と推定精度に関する検証を行い求める推定精度に応じて評価値の算出における負担を調節できる可能性を示した。今後の被験者実験に向けた試みとして、学習期間と使用するセンサ数に関する検証を実施し、推定精度の向上には長期間の計測が必要なことに加え、加速度センサ、心拍センサ、GPS センサのみを使用した場合でも相関係数 0.645 で正解値を追従できることを明らかにした。さらに、推定モデルの構築に関する検証を実施し、推定モデルを 26 設問ごとに構築して評価値を算出する場合でも、評価値を直接推定する場合でも推定精度に差異が無いことを明らかにした。

キーワード

生活の質 (QOL: Quality of Life) , 健康に関連のある QOL (HRQOL: Health Related QOL) , モバイルヘルス, WHOQOL, 生体情報, 位置情報

Simplified HRQOL Assessment by using Smart Device ^{*}

Chishu Amenomori

Abstract

Living with excessive stress over a long period leads to a decrease in physical and mental functions. It may cause diseases such as depression, dementia, and lifestyle diseases. Solving this problem is important to identify deteriorating signs early. Health Related Quality of Life (HRQOL) is an indicator that quantifies the degree of influence on subjective health, daily work, housework, and social activities. If we can continuously measure HRQOL, we may be able to detect the signs of its decline early and prevent that decline. However, since HRQOL measurements require users to answer many questions, its daily measurements impose a heavy burden. Some methods for evaluating living behavior using smart devices have already been proposed. However, since these methods target only specific activities or have their evaluation methods, they are not suitable to evaluate the quality of life.

In this thesis, for the continuous measurement of HRQOL, we propose a simplified HRQOL measurement method which reduces the burden for answering questionnaires by using smart devices. In our proposed method, we collect sensor data from a wrist-type sensor and a smartphone as well as the scores of the questionnaire items of WHOQOL-BREF, which is one HRQOL measurement method. After that, we construct a machine learning model for each question items to estimate the answer values.

^{*}Master's Thesis, Department of Information Science, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT1651003, February 1, 2018.

In order to evaluate the feasibility of the proposed method, we collected data from one subject for half a year and conducted an evaluation experiment. As an experimental result, we confirmed that the estimated value can follow the correct value with the correlation coefficient of 0.646 when using the estimation model with the selected features. In addition, we investigated the degree of simplification and estimation accuracy and showed the possibility of being able to adjust simplicity according to the required estimation accuracy. As an attempt for future experiments, we conducted verification on the learning period and the number of sensors to be used. As a result, we clarified that long-term measurement is necessary to improve estimation accuracy, and clarified that the estimated value can follow the correct value with correlation coefficient 0.645 even when only acceleration sensor, heart rate sensor, GPS sensor are used. Moreover, we conducted verification on constructing the estimation model. There was no difference in estimation accuracy, even in the case of constructing the estimation model for 26 questions and calculating the evaluation value, even in the case of directly estimating the evaluation value.

Keywords:

Quality of Life (QOL), Health Related QOL (HRQOL), mHealth, WHOQOL, Biological information, Location information

目次

1. 序論	1
2. 健康に関連のある QOL (HRQOL: Health Related Quality of Life)	4
2.1 生活の質 (QOL: Quality of Life) の概念と定義	4
2.2 QOL の分類	4
2.3 HRQOL の概念と定義	5
2.4 HRQOL の評価手法	6
3. 関連研究	10
3.1 質問票を用いた生活の質に関する調査	10
3.2 センサデータを用いて生活の質を評価する研究	11
3.3 既存評価手法における課題	13
4. スマートデバイスを用いた HRQOL 簡易評価手法	14
4.1 概要	14
4.2 教師データとする評価尺度	15
4.3 データ収集フェーズ	17
4.4 特徴量計算フェーズ	18
4.5 推定モデル構築フェーズ	19
4.6 特徴選択フェーズ・推定モデル再構築フェーズ	19
4.7 評価値算出フェーズ	20
5. 評価実験	21
5.1 データセットと推定モデルの構築	21
5.2 評価方法	22
5.3 特徴選択による影響の検証	22
5.3.1 推定結果	23
5.3.2 推定値の追従性に関する考察	29
5.3.3 重要度の高い特徴量に関する考察	29

5.4	簡易化と推定精度に関する検証	30
5.4.1	推定値とアンケート回答値の混合手法	30
5.4.2	混合手法による評価値の算出結果	30
5.4.3	簡易評価手法に関する産業医の先生へのヒアリング	31
6.	簡易評価手法の普及に向けた検証	33
6.1	学習期間を減らした場合の検証	33
6.1.1	実験結果	34
6.1.2	考察	34
6.2	廉価なデバイスを想定した場合の検証	35
6.2.1	実験結果	36
6.2.2	考察	40
6.3	評価値を直接推定する場合の検証	40
6.3.1	実験結果	41
6.3.2	考察	44
7.	結論	45
	謝辞	47
	参考文献	49
	付録	54
A.	F 値の算出に使用した値	54
A.1	全てのセンサデータを用いた場合	54
A.2	廉価なデバイスを想定した場合	57
	研究業績	60

目 次

1	HRQOL 簡易評価手法の概要	14
2	HRQOL 評価値の推移	25
3	ドメインごとの点数の推移	26
4	アンケート数を増やした際の相関係数の変化	31
5	学習期間を変えた場合の追従性	34
6	E4 wristband と廉価なデバイスから得られる特徴量を特徴選択し て推定した HRQOL 評価値	38
7	HRQOL 評価値の推移	42
8	ドメインごとの点数の推移	43

表 目 次

1	QOL の分類	5
2	既存調査票の設問数と評価対象領域	9
3	WHOQOL-BREF の質問項目	16
4	WHOQOL-BREF を構成する要素	17
5	正解値の分散および特徴選択前後の F 値と特徴選択した際の特徴 量数	24
6	推定値の追従性	26
7	重要な特徴量	28
8	廉価なデバイスを想定した場合の正解値の分散および特徴選択前 後の F 値と特徴選択した際の特徴量数	37
9	廉価なデバイスを想定した場合の推定値の追従性	38
10	廉価なデバイスを想定した場合の重要な特徴量	39
11	間接推定モデルと直接推定モデルで算出した推定値と正解値の相 関係数	43
12	間接推定モデルと直接推定モデルで算出した推定値の分散	44
13	全特徴量を使用して推定した際の適合率, 再現性, F 値	55
14	特徴選定して推定した際の適合率, 再現性, F 値	56
15	廉価なデバイスを想定した場合に全特徴量を使用して推定した際 の適合率, 再現性, F 値	58
16	廉価なデバイスを想定した場合に選定された特徴量を使用して推 定した際の適合率, 再現性, F 値	59

1. 序論

近年の長時間の就労やストレスの増加による影響が人々の身体的、精神的、社会的活動を行う能力を低下させており、この問題の解決に世界的な関心が高まっている。長期に渡る過度のストレスを抱えた生活は、身体的、精神的機能の低下に繋がり、さらに、うつ病 [1]、認知症 [2]、生活習慣病 [3] といった疾病を引き起こす可能性がある。これらの身体的、精神的活動を行う能力の低下を防ぐために、予防を目的とした早期の低下兆候の特定が重要となる。特に、日本は諸外国と比較して自身の能力に対する評価が低い傾向にあり [4]、活力を向上させるための施策が必要とされている。

生活の質（QOL: Quality of Life）は、日々の生活の満足度と質を評価する指標である。QOL の一要素である健康に関連のある QOL（HRQOL: Health Related Quality of Life）は、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用な指標であり、身体的、精神的、社会的活動能力が減退し始める兆候を見つけるための指標として適している。継続的に HRQOL を測定することができれば、過去の評価値から減退する兆候を早期に検出し、HRQOL の低下を未然に防ぐことができる。しかしながら、HRQOL 評価に用いられる既存手法は多数のアンケート項目に回答する必要があるため、毎日の測定は大きな負担が掛かる。また、スマートデバイスを用いて日々の生活行動を評価する手法 [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12] が提案されているが、評価手法を独自に設けている、特定の行動のみを対象としているといった課題を抱えており、生活全体の質を評価するには不十分である。

本研究では、HRQOL 評価値を継続的に測定するために、スマートデバイスを用いてアンケートへ回答する負担を軽減する HRQOL 簡易評価手法を提案する。本手法では HRQOL 評価手法の一つである WHOQOL-BREF の回答値を教師データとして、スマートフォンとリストバンド型ウェアラブルデバイスを用いてライフログを収集する。WHOQOL-BREF は身体的状態、心理的状态、社会的関係、環境の 4 つの評価領域（ドメイン）に属する 26 項目の設問を持ち、各設問の回答値から HRQOL を評価する手法である。これらのデータを基に推定モデルを構築し、評価値を推定する。推定モデルは、データ計測を重ねるごとに個人に最適化

されたモデルを再構築し、推定精度を改善する。

本手法の実現可能性を評価するために、およそ半年に渡り一人の被験者からライフログとアンケート回答を収集し、評価実験を行った。実験結果として、推定モデルを構築する特徴選択した場合には、相関係数 0.646 で正解値を追従できることを確認した。また、重要度の高い特徴量について分析を行い、ドメインごとに異なる傾向があることを明らかにした。身体的領域では心理状態と移動距離に関連する特徴量、心理的領域では移動距離に関連する特徴量、社会的関係では心理状態に関連する特徴量、環境領域では身体状態や移動距離に関連する特徴量が重要とされることがわかった。加えて、推定精度の改善を目的として、推定値とアンケート回答を併用する混合モデルを構築し、簡易化と推定精度に関する検証を行った。実験の結果より、アンケート数が5問の場合には0.827、9問の場合には0.912の相関係数で推定できることを確認し、求める推定精度に応じて評価値の算出における負担を調節できる可能性を示した。加えて、簡易評価手法の活用に関して産業医の先生にヒアリングを行い、実際の計測における使用目的と求められる精度をユースケースとしてまとめた。

さらに、簡易評価手法の普及に向けて、推定モデル構築に必要な実験期間とセンサの種類を明らかにするための検証を実施した。学習期間に関する検証では、最低限必要な学習期間を特定することはできず、推定精度の向上には長期間の計測が必要となることを確認した。使用するセンサに関する検証では、ウェアラブルデバイスに搭載されたセンサを加速度センサと心拍センサのみであっても、相関係数 0.645 で正解値を追従できることが明らかになり、心拍センサによって皮膚電気活動センサ、容積脈波センサ、心拍センサ、心拍間隔センサを代替できる可能性があることがわかった。評価値を直接推定する検証では、直接推定モデルと間接推定モデルの相関係数には大きな差異が無いことを明らかにした。一方で、分散値はどちらのモデルでも小さいことが確認された。この結果より、推定モデルを構築する際の教師データの回答値の割合を均一に近付ける必要があることがわかった。

本論文の構成を述べる。まず、2章では、HRQOLの概要と定義について取り上げ、主要な評価手法を紹介する。次に、3章では、関連研究として、HRQOL

に関わる調査とスマートデバイスを用いて生活行動の質を評価する研究を取り上げ，既存手法における課題を整理する．4章では，HRQOL 簡易評価手法の概要と算出までの流れを示し，5章にて，評価実験を行う．最後に，6章で今後の評価実験において必要とされるデータセットについて検証し，7章にてまとめる．

2. 健康に関連のある QOL (HRQOL: Health Related Quality of Life)

2.1 生活の質 (QOL: Quality of Life) の概念と定義

QOL は、生活に対する満足度・質を表す指標である。World Health Organization (WHO) は QOL を「個人が生活する文化や価値観の中で、目標や期待、基準または関心に関連した自分自身の人生の状況に対する認識」と定義している [13] が、世界的な合意が得られているわけではなく、自分の研究目標に沿った QOL の定義、領域、構成要素を設定することが重要である [14]。そのため、QOL の評価指標を開発する研究では、独自に新たな定義、領域、構成要素を設定したり、先行研究からその研究に適した定義・領域・構成要素を選択し設定する方式が取られている。本研究では、WHO が定める QOL の定義、指標を基に QOL を評価することを基本方針とし、以降の節において、QOL の分類や既存手法を紹介するとともに、本研究の目標と設定を明確にする。

2.2 QOL の分類

QOL は表 1 に示すように、健康に関連のある QOL (HRQOL: Health Related Quality of Life) と健康に関係のない QOL (NHRQOL: Non Health Related Quality of Life) に分類することができる。HRQOL は身体状態や心理状態など、人の健康に直接影響する QOL を表しており、NHRQOL は環境や経済や政治など、医学的介入による影響を直接受けない部分の QOL を指す [15]。

本研究では、活力の低下を未然に防ぐことを目的として、医学的介入が可能で健康状態に応じて変化のある HRQOL を対象として簡易評価を行う。

表 1: QOL の分類

HRQOL: Health Related Quality of Life	
身体的状態	日々の行動, 医療機関の受診, 痛みと障害, 睡眠と休息
心理的状态	身体の外観, 正・負の感情, 自己評価
社会的交流	人間関係, 社会的支援, 性生活
経済的・職業的状态	経済的資源, 交通機関, 情報や技術を得る機会
宗教的・霊的状态	信仰・崇拜・組織などの活動
NHRQOL: Non-Health Related Quality of Life	
人ー内向的	価値観・信条, 目標, 人格, 対処能力
人ー社会的	家族構成, 社会関係, 経済状態, 就業状態,
外的ー自然環境	空気, 水, 土地, 気候, 地理
外的ー社会環境	文化施設, 宗教施設・機会, 学校, 医療施設, 安全

2.3 HRQOL の概念と定義

HRQOLはQOLのうち, 人の健康に直接影響するQOLを表しており, Spilker[16]が分類した(1) 身体的状態, (2) 心理的状态, (3) 社会的交流, (4) 経済的・職業的状态, (5) 宗教的・霊的状态というの5つの領域に対応している. それぞれの領域は関連する構成要素を包括しており, 身体的状態は日々の行動や医療機関の受診などを, 心理的状态は身体の外観や自己評価などを, 社会的交流は人間関係

や社会的支援などを，経済的・職業的状态は経済的資源や交通機関などを，宗教的・霊的状态は信仰・崇拜・組織などの活動を要素として含んでおり，各評価手法はこれに相当する領域を設定し評価を行っている．

2.4 HRQOL の評価手法

HRQOL は個人の生活に対する満足度の指標であるため，個々人に依って尺度が異なる．また，同一人物であってもその時々 of の心理状態などのコンテキストに依存して尺度が変化する．そこで，HRQOL を定量的に評価する手法が提案されている．評価手法としては，HRQOL に関連するものに，Sickness Impact Profile[17] (SIP)，Short Form-36[18, 19] (SF-36)，EuroQoL 5 dimension[20] (EQ-5D)，Nottingham Health Profile[21] (NHP)，WHOQOL[22]，WHOQOL-BREF[23] などが存在する．NHRQOL に関連する標準化された評価手法は調査した範囲では存在しなかった．各評価手法ではそれぞれが独自に表 1 に示す要素に関連した要素を評価対象として設定している．以下に既存手法の特徴を説明し，表 2 に評価に必要な設問数と評価対象としている領域をまとめる．

SIP

Sickness Impact Profile (SIP) [17] は Bergner らによって開発された疾病の影響による機能障害を測定する包括的尺度の QOL 測定手法である．この手法では，アンケート方式の 136 項目の質問により，身体的領域，心理社会的領域，その他の領域の 3 つの領域の評価値を求めることができ，それらの合計から HRQOL 評価値を見積もることができる．なお，身体的領域は移動，可動性，身体介護と運動の 3 カテゴリー，心理社会的領域は社会相互性，コミュニケーション，行動の変化，感情的行動の 4 カテゴリー，そして，その他の領域は睡眠と休息，栄養摂取，家庭管理，レクリエーションと娯楽，雇用の 5 カテゴリーに細分化されており，設問はこれらのカテゴリに基いて構成されている．

SF-36

Short Form-36 (SF-36) [18, 19] は John らによって開発された QOL 測定法である。この手法では、アンケート方式の 36 項目の質問により、身体機能、日常役割機能（身体）、体の痛み、全体的健康感、活力、社会生活機能、日常役割機能（精神）、心の健康という 8 つの健康概念を測定する。SF-36 は、疾病の異なる患者の間で QOL を比較したり、患者の健康状態を健康な人と比較する際に用いることができる。

EQ-5D

EuroQoL 5 dimension (EQ-5D) [20] は、EuroQol グループによって開発された QOL 測定法である。この手法では、5 つのカテゴリ（移動の程度、身の回りの管理、ふだんの活動、痛み／不快感、不安／ふさぎ込み）に基いて QOL を評価する。従来手法では 3 段階のアンケートにより評価を行っていたが、感度が不十分であることや回答が高得点に集まってしまう天井効果が課題となり、2011 年に改良版の手法である EQ-5D-5L[24] が開発された。設問数は 25 問で、1 つのカテゴリにつき 5 つの設問が含まれる。QOL と生存年数を評価する質調整生存年を算出する際に使用されることが多い。

NHP

Nottingham Health Profile (NHP) [21] は、2 部から構成される質問票で、健康に関わる活力、痛み、感情、睡眠、社会的孤独、活動量を評価する 38 項目の質問と日常生活に健康状態がどの程度影響を与えているかを評価する 7 項目の質問から構成される。全ての設問は肯定と否定の 2 値で回答され、項目ごとの重みを加味した上で評価される。健康に関わる負の側面を計測する手法であるという特徴をもつ。

WHOQOL

WHOQOL (WHOQOL-100) [22] は 1992 年から WHO によって研究開発が行われている QOL の指標である。本評価手法開発関連プロジェクトには世界 22ヶ国が参加しており、欧米諸国だけでなく発展途上国の視点を含む、国際比較を念頭においた初めての調査票である。100 項目の質問から構成され、各項目は、身体状態、心理状態、自立度、社会関係、環境、宗教の 6 つの領域に分割される。質問は 4 項目を 1 パートとして 24 のパートにわけられ、そこに全体的な質問を 1 パート加えた、全 25 パートから構成される。各設問は 5 段階のアンケートで評価され、最終的な QOL の評価値を求めることができる。

WHOQOL-BREF

WHOQOL-BREF (WHOQOL-26) [23] は WHOQOL が回答者に長時間の束縛を要求することから、設問数を削減し回答時間を短縮するために、WHO より新たに提案された手法である。WHOQOL-100 の 6 つの領域に関連する 24 パートごとに統計的に最も影響力のある質問を一つずつ選び、それに全体の QOL を問う質問を 2 つ加えた 26 項目で評価を行う。これら 26 項目が、身体的領域、心理的領域、社会的関係、環境領域の 4 つのドメインに分割される。最終的な QOL の評価値はドメインに計算された評価値を足しあわせて求める。また、この手法によって算出された値は WHOQOL-100 を用いて算出される値に変換することも可能である。

表 2: 既存調査票の設問数と評価対象領域

調査票名	設問数	対象とする領域
SIP	136 問	身体的領域, 心理社会的領域, その他
SF-36	36 問	身体機能, 日常役割機能 (身体), 体の痛み, 全体的健康感, 活力, 社会生活機能, 日常役割機能 (精神), 心の健康
EQ-5D	25 問	移動の程度, 身の回りの管理, ふだんの活動, 痛み/不快感, 不安/ふさぎ込み
NHP	45 問	健康に関わる活力, 痛み, 感情, 睡眠, 社会的孤独, 活動量
WHOQOL	100 問	身体状態, 心理状態, 自立度, 社会関係, 環境, 宗教
WHOQOL-BREF	26 問	身体的領域, 心理的領域, 社会的関係, 環境領域

3. 関連研究

3.1 質問票を用いた生活の質に関する調査

QOL 評価手法は医療分野で多く用いられており、QOL に影響する疾病の因子の判別 [25, 26] や手術後の回復経過の評価 [27] など、同じ疾病患者集団の傾向や治療前後の患者の状態を評価するために利用されている。これらの調査では特定の疾病の患者のみから構成される集団を対象としており、個人を対象にした調査は行われていない。また、特定の集団の健康状態を記録し続けるような追跡調査も行われていない。

医療分野以外では、小西ら [28] は、女子大学生の食事パターンと HRQOL の関係を調査している。夜食を含む間食頻度の多い者ほど仕事や普段の活動時における身体的な活動機能が低下しており、食事パターンが HRQOL に影響を与えている可能性があるとして報告している。この研究では、質問票による調査を基としていることに加え、被験者一人当たり、平日 2 日、休日 1 日の計測しか行われていない。

杉山ら [29] は、大学生の学生生活における QOL を計測することを目的として、学生生活の評価に特化した評価尺度を作成し、既存評価尺度と相関があることを報告している。しかし、個人を対象とした追跡調査は行われていない。

上田ら [30] は、HRQOL とストレスの関係について調査しており、ストレスの強い職業である看護職員に対して HRQOL を評価するアンケートを実施し、仕事の負担や疲労感を計測している。達成感の充足支援と仕事負荷といったストレスをコントロールすることで HRQOL の改善に繋げることができるとまとめているが、アンケートの実施回数は一度のみで追跡調査は行われていない。

佐藤ら [31] は、独居高齢者のストレスを計測しており、ストレスの原因として自分の健康、病気、介護の面で老いへの不安が挙げられていても、経済状況などの他の面での満足度が高い場合には全体的な生活の満足度は高くなると報告している。しかし、個人を対象とした追跡調査は行われていない。

Sörensen ら [32] は肉体労働系職業における中年男性の作業能力と HRQOL の関係を調査している。作業能力指数と HRQOL 評価値を 40~60 歳代の男性 196 人か

ら測定し、HRQOL と作業能力との間に相関があることを発見した。さらに、作業能力の改善が HRQOL の向上に有効である可能性があることを示唆している。しかし、この調査では身体的側面からの影響のみを評価対象としており、心理状態や人間関係による影響は考慮していない。

Rusli ら [33] はストレスと不安と QOL の関係を調査している。698 人の男性自動車組立作業員に対して、職業性ストレスの調査票である Job Content Questionnaire, 不安やストレスの評価尺度である Depression Anxiety Stress Scales, 生活の質の評価指標である WHOQOL-BREF の 3 つの質問票を用いてアンケート調査を行い、各要因間で生じる影響を明らかにした。異なる評価指標を用いて生活の質を多角的に評価しようとする点は有用であるが、ストレスや不安などのネガティブな要因のみを対象としておりポジティブな要因は考慮されていない。

3.2 センサデータを用いて生活の質を評価する研究

日々の個人の生活の質の計測を目的として、スマートデバイスから得られたセンサデータを用いて健康やストレス状態、感情を推定する手法が提案されている。Asma ら [5] は、抑うつ状態の継続的な診断と評価を実現するためにセンサデータ値から抑うつ状態を推定する手法を提案している。この手法ではリストバンド型のウェアラブルデバイスとスマートフォンから得られる、皮膚電気活動、睡眠状態、スマートフォンの使用状況、位置情報などを用いて、ハミルトンうつ病評価尺度 (the Hamilton Depression Rating Scale) の評価値を推定している。ハミルトンうつ病評価尺度の評価値を推定することは被験者のネガティブな状態を把握する方法としては有効かもしれないが、ポジティブな状態を評価できない点で、生活全般の質を評価するには不十分である。

Garcia-Ceja ら [6] は、スマートフォンの加速度データのみから就業中のストレス量を推定する手法を提案している。被験者は就業日に 3 回 (午前, 午後, 就業終了時) ストレスを評価する質問票である the Oldenburg Burnout Inventory に 5 段階で回答した。その後、回答値は 3 段階のストレスレベルに変換され、これらの値を正解値として、一般モデル, 特定ユーザモデル, 類似ユーザモデルの 3 つの推定モデルが構築された。ユーザ固有モデルは高精度であるもののモデル構

築の際に多くのラベルデータを必要とし、一般モデルは必ずしもラベルデータを必要としないものの精度が低いという欠点を抱える。一方で、類似ユーザモデルでは、これらのモデルの欠点を補い、少ないラベルデータで中程度の精度を達成した。しかし、この手法では加速度データのみしか利用していないため心理的な側面の評価については検討の余地がある。

Natasha ら [7] は、スマートフォンとリストバンド型ウェアラブルデバイスを使って次の日の健康状態、ストレス状態、幸福度を予測する手法を提案している。被験者が0（悲しい）–100（幸せ）の尺度で回答した値を2値に変換し、その日の幸福度が算出される。この幸福度を正解値として、スマートデバイスで計測される値を用いて推定する手法を提案している。また、Andrey ら [8] はスマートフォンから得られるセンサデータと気象データを用いて毎日のストレスを推定する手法を提案している。ストレス情報は毎日夕方に7段階回答を行う調査票を用いて収集され、その後ストレス有り、無しの2値を正解値とする推定モデルが構築される。これらの研究では、2値分類しか行っていないため、細かな変化や機微を判別できない可能性があり、初期の小さな変化や悪化する兆候を見逃す可能性がある。

Pascal ら [9] は、スマートウォッチと気象データを用いて幸福度を推定する手法を提案している。幸福度は *pleasance* と *active* の組み合わせから9段階で分類され、スマートウォッチから得られるセンサデータと気象データを基に推定される。正解値である幸福度は一日のうちにランダムに4回、もしくは任意のタイミングで評価され、推定モデルが構築される。推定された結果は、ウェブサイトを通して確認することができることに加え、どのような要因や人物との関わりが幸福度に影響を及ぼしていたか知ることができる。センサデータから感情を推定する手法はその時々心理状態を判断する点では有効だが、毎日の生活の質は気分の盛り上がり、落ち込みといった感情の変動以外の要因を含めて評価される必要がある。また、この手法はその時々感情を推定する手法であるため、毎日の生活の質を評価するためには短期間の感情の変動を推定するだけでは不十分である。

桒本ら [10] は、3次元加速度センサを用いた睡眠の質の定量化手法を開発しており、入床時間と実睡眠時間から求められる睡眠効率を5段階の評価に変換する

ことで睡眠の質を評価している。また、足立ら [11] や海老根ら [12] は、加速度センサ付きの歩数計を用いて、成人や学生の身体活動量を評価している。加速度の加算値は歩・走行時の酸素摂取量変化をよく反映することが知られており [34]、歩数に運動強度を加味することで活動強度を高い精度で計測可能なことを報告している。しかし、これらの手法では、評価指標は独自に設定されており、統一された評価尺度を用いていない。そのため、生活の質を評価するためにそのまま利用することはできない。

3.3 既存評価手法における課題

生活の質を評価する既存調査では、国ごと、地域ごとの比較調査や術後経過の評価に利用されてきた。他にも、食事パターンやストレスを計測する指標との相関関係を検証する研究に利用されている。しかしながら、これらの研究では QOL の計測は一度だけか、数回しか行われておらず、継続的な計測は行われていないため、毎日の変化を計測するには不十分である。

一方、スマートデバイスにより計測されたデータから生活に関わる行動の質を推定しようとする研究も行われてきている。しかしながら、これらの研究では睡眠などの特定の生活行動だけを対象としており、QOL として評価するためには、それぞれが独立しては多角的に評価することができない。また、評価項目を満足しているか、不満足であるかの 2 値で評価するため、細かな変化・機微が判らない可能性があり、小さな変化や兆候を見逃す可能性がある。他にも、標準化された評価尺度に基づかず著者が独自に指標を設けている手法も存在しており、評価尺度の妥当性においても課題が残る。

以上より、これまでの QOL 調査では質問票を使用して実施されてきたため、長期に渡り継続的に測定することができない。また、スマートデバイスを用いて生活の質を推定する研究も行われているが、特定の行動を対象にしている、もしくは独自の評価指標を採用しているため、そのまま QOL の評価に利用することはできない。そこで本研究ではこれらの課題を解決するために、世界的に確立された評価基準の下で、継続的に計測可能な簡易 HRQOL 評価手法の実現を目指す。

4. スマートデバイスを用いた HRQOL 簡易評価手法

4.1 概要

本手法は、既存評価手法におけるアンケート回答の負担を軽減し、継続的な測定を実現することを目的として、スマートデバイスを用いて測定したライフログから、HRQOL 評価値を推定する簡易 HRQOL 評価手法を提案する。提案システムの概要を図 1 に示す。

本手法は、6つのフェーズを経て HRQOL 評価値を推定する。まず、データ収集フェーズ（図 1 中（1））では、スマートフォンとウェアラブルデバイスから得られるライフログを収集することに加え、毎日の QOL に関わるアンケートを実施し正解データを収集する。特徴量計算フェーズ（図 1 中（2））では、計測したセンサデータから機械学習を行うための特徴量を計算する。そして、推定モデル構築フェーズ（図 1 中（3））では、それらの特徴量から設問ごとに推定モデルを構築する。項目ごとに推定モデルを構築することにより、最終的なアウトプットである HRQOL 評価値の推移だけでなく、各要素の推移や変化に敏感に反応することができる。学習初期は全ての特徴量を使用して推定モデルの構築を行うが、データ計測日数を重ねるごとにモデルの再構築を行い、個人ごとに最適化されたモデルを構築する。

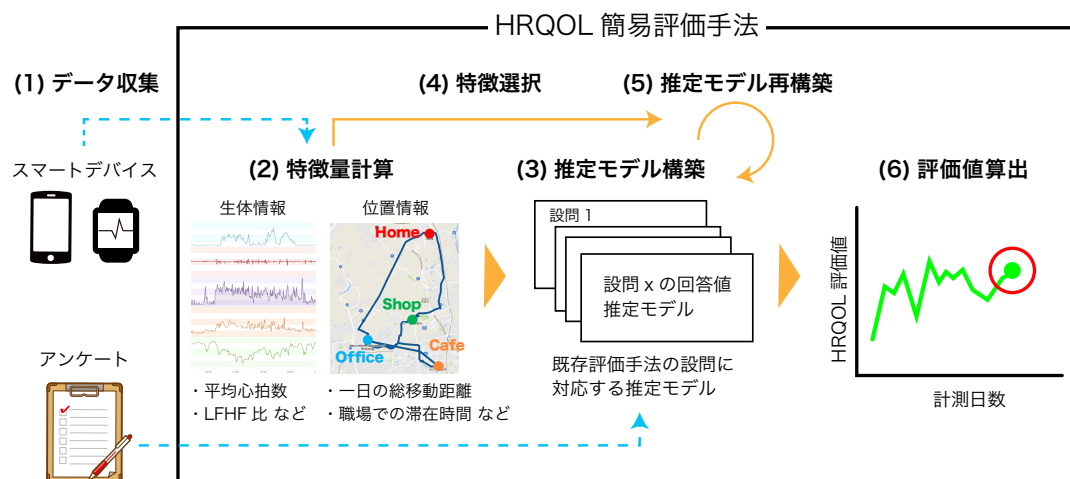


図 1: HRQOL 簡易評価手法の概要

モデルの再構築は特徴選択フェーズ（図 1 中（4））にて特徴選択し、その後、推定モデル再構築フェーズ（図 1 中（5））で推定モデルを更新する。最後に評価値算出フェーズ（図 1 中（6））にて、各設問の推定値から毎日の HRQOL 評価値を計算する。

4.2 教師データとする評価尺度

本手法では推定対象の評価指標として WHOQOL-BREF を選択した。質問項目を表 3 に示す。WHOQOL-BREF は、国際比較を念頭に置いて開発された調査票である WHOQOL をベースにした評価手法である。世界的な認知度が高い WHOQOL に簡易さを加えた WHOQOL-BREF は、継続的に HRQOL を評価し記録する必要がある提案手法の目的に合致しており、本研究で用いる評価手法として採用した。WHOQOL-BREF は包括的尺度であるため、測定対象を特定の疾患を持つ患者に限定しないことに加え、疾病を患っていない健常者を対象としても利用可能な特徴をもつ。また、従来手法である WHOQOL の評価値にも変換可能なため、評価値を算出した際の活用の幅は広いと考えた。

WHOQOL-BREF は評価領域として、ドメインと呼ばれる次の 4 つの領域をもつ：身体的領域（PHY: Physical health domain）、心理的領域（PSY: Psychological domain）、社会的関係（SOC: Social relationships domain）、環境領域（ENV: Environment domain）。それぞれのドメインは表 4 に示す下位要素を持っている。

WHOQOL-BREF では最終的な評価値だけでなく、中間値として異なるドメインの点数や設問ごとの点数も計算されるため、ドメインの点数に応じた要素も評価することができる。そこで、本手法では直接 HRQOL 評価値を推定するのではなく設問ごとに回答値を推定し、最終的な評価値を算出する。

表 3: WHOQOL-BREF の質問項目

設問	ドメイン	質問内容 [35]
1	-	自分自身の生活の質をどのように評価しますか
2	-	自分の健康状態に満足していますか
3	PHY	体の痛みや不快感のせいで、しなければならぬことがどのくらい制限されていますか
4	PHY	毎日の生活の中で治療（医療が）がどのくらい必要ですか
10	PHY	毎日の生活を送るための活力はありますか
15	PHY	家の周囲を出まわることがよくありますか
16	PHY	睡眠は満足のいくものですか
17	PHY	毎日の活動をやり遂げる能力に満足していますか
18	PHY	自分の仕事をやる能力に満足していますか
5	PSY	毎日の生活をどのくらい楽しく過ごしていますか
6	PSY	自分の生活をどのくらい意味のあるものと感じていますか
7	PSY	物事にどのくらい集中することができですか
11	PSY	自分の容姿（外見）を受け入れることができですか
19	PSY	自分自身に満足していますか
26	PSY	気分がすぐれなかったり、絶望、不安、落ち込みといったいやな気分をどのくらいひんばんに感じますか
20	SOC	人間関係に満足していますか
21	SOC	性生活に満足していますか
22	SOC	友人たちの支えに満足していますか
8	ENV	毎日の生活はどのくらい安全ですか
9	ENV	あなたの生活環境はどのくらい健康的ですか
12	ENV	必要なものが買えるだけのお金を持っていますか
13	ENV	毎日の生活に必要な情報をどのくらい得ることができですか
14	ENV	余暇を楽しむ機会はどのくらいありますか
23	ENV	家と家のまわりの環境に満足していますか
24	ENV	医療施設や福祉サービスの利用しやすさに満足していますか
25	ENV	周辺の交通の便に満足していますか

表 4: WHOQOL-BREF を構成する要素

領域	下位項目 [35]
身体的領域	日常生活動作 医薬品と医療への依存 活力と疲労 移動能力 痛みと不快 睡眠と休養 仕事の能力
心理的領域	ボディ・イメージ 否定的感情 肯定的感情 自己評価 精神性・宗教・信念 思考・学習・記憶・集中力
社会的領域	人間関係 社会的支え 性的活動
環境領域	金銭関係 自由・安全と治安 健康と社会的ケア：利用のしやすさと質 居住環境 新しい情報・技術の獲得の機会 余暇活動への参加と機会 生活圏の環境 交通手段

4.3 データ収集フェーズ

データ収集フェーズでは、スマートデバイスを用いてライフログを、アンケートを用いて教師データとする QOL 評価値を収集する。センサデータはデバイスを装着している間自動的に計測し、アンケート回答は一日に一度被験者の回答に

より収集する．使用するスマートデバイスは一般に入手可能で表4の下位項目を計測可能なものとして，E4 wristband[36]とスマートフォンを選んだ．

E4 wristbandは加速度（ACC: Acceleration），皮膚電気活動（EDA: Electrodermal activity），容積脈波（BVP: Blood volume pulse），心拍数（HR: Heart rate），心拍間隔（IBI: Inter-beat interval），皮膚体温（TEMP: Skin temperature）の6つのセンサを備えている．それぞれのサンプリングレートは次の通りである：BVPは64 Hz；ACCは32 Hz；EDAは4 Hz；HRとTEMPは1 Hz；IBIは不定期な間隔で計測する．このデバイスには他のスマートデバイスにはあまり搭載されていない皮膚電気活動センサや容積脈波センサなどのセンサを搭載しており，これらのセンサによって身体的だけでなく心理的な側面からも測定できる．

スマートフォンではGPSデータを収集し，一日の総移動量や特定の場所での滞在時間を計算する．E4 wristbandで計測した生体情報とスマートフォンで計測した位置情報を組み合わせることで，家庭と職場など場所ごとに，被験者の状態を把握することが可能となる．さらに，これらのデバイスの特徴として，ユーザの行動を必要以上に制限しない点が挙げられ，普段と変わらない行動を評価することができると思う．

以上の理由から，本手法を実現するために現時点で最適なデバイスの組み合わせであると判断した．

4.4 特徴量計算フェーズ

特徴量計算フェーズでは，前のデータ収集フェーズで収集されたセンサデータから機械学習に用いる特徴量を計算する．E4 wristbandで計測されたデータからは96個の特徴量を計算する．まずはじめに，生データから睡眠中の時間帯を検出し，睡眠時間と活動時間を定義する．次に，それぞれの時間帯において，6種類のセンサーデータのそれぞれについて合計値（SUM），平均値（AVE），中央値（MEAN），標準偏差（STD），分散（VAR），最大値（MAX），最小値（MIN）の7つの特徴量を計算する．ただし，加速度センサはXYZの3軸ごとのセンサ値が計測されるため，合成加速度を求め，この値から特徴量を算出した．以降，例えば活動中の心拍数の平均値であればA_HR_MEANとして記載する．さらに，

容積脈波センサ値から交感神経と副交感神経の状態を示す LF/HF 比 [37, 38] を 5 分ごとに計算し、活動中と睡眠中の時間帯ごとに、合計値、平均値、中央値、最大値、最小値、および平均値を超えた回数の 6 つの特徴量を計算する。

スマートフォンで計測されたデータからは 6 個の特徴量を計算する。位置データから、一日の総移動距離 (WholeDist)、家から 5 km 周囲内での移動距離 (Around-HomeDist)、自宅と職場にそれぞれ滞在した時間 (AtHomeTime, AtOfficeTime)、就寝した場所が自宅かそれ以外の場所であるか (SleepPlace)、および起床位置からの最も遠い位置までの距離 (MaxDist) を計算する。

また、時間に関する特徴量として、活動時間 (ActiveTime)、当日の睡眠時間 (tSleepTime)、前日からの睡眠時間 (ySleepTime) の 3 個の特徴量を計算する。

4.5 推定モデル構築フェーズ

推定モデル構築フェーズでは、特徴量計算フェーズで計算された特徴量全てを用いて推定モデルを構築する。アンケートへの 5 段階の回答値を教師データとして、WHOQOL-BREF の 26 項目ごとにモデルを構築する。

WHOQOL-BREF では最終的な評価値が直接算出されるのではなく中間値として複数のドメインの点数が計算されその平均値として算出されることから、設問ごとに推定モデルを構築することによりドメインごと、設問ごとに点数の推移を観察することができると考えた。

4.6 特徴選択フェーズ・推定モデル再構築フェーズ

特徴選択フェーズでは、重要度を基に学習に効果的な特徴量を選び、その後、推定モデルの再構築フェーズにて推定モデルを更新する。

先述した推定モデル構築フェーズでは、センサデータから計算できる全ての特徴量を使用して推定モデルを構築するが、全ての特徴量を使用していることで逆に精度を低下させている可能性がある。この問題を解決するためには学習に不要な特徴量を取り除き、必要な特徴量のみで推定モデルを構築することで解決することができる。そこで、学習を繰り返す中で最も推定精度が高くなる特徴量の組

み合わせを見つけ、その特徴量のみを使用して 推定モデルを更新することで精度の向上を図る。

4.7 評価値算出フェーズ

評価値算出フェーズでは、推定モデルにより求めたした回答値から HRQOL 評価値を計算する。評価値は次の WHOQOL-BREF で用いられている式 (1) [35] を用いて、表 3 の設問に対する 5 段階の回答値から算出される。この評価値は 4 つのドメインの評価値とドメインに属さない項目の値から導かれる。

$$HRQOL = (PHY + PSY + SOC + ENV + Q1 + Q2)/26 \quad (1)$$

それぞれの領域の計算は以下の式 (2) ~ (5) を用いて計算することができる。

$$PHY = (6 - Q3) + (6 - Q4) + Q10 + Q15 + Q16 + Q17 + Q18 \quad (2)$$

$$PSY = Q5 + Q6 + Q7 + Q11 + Q19 + (6 - Q26) \quad (3)$$

$$SOC = Q20 + Q21 + Q22 \quad (4)$$

$$ENV = Q8 + Q9 + Q12 + Q13 + Q14 + Q23 + Q24 + Q25 \quad (5)$$

5. 評価実験

評価実験では、簡易測定法の推定精度を評価し、提案手法の実現可能性を明らかにすることを目的とする。目的の達成のため、スマートデバイスから得られたライフログに基づく HRQOL の推定精度を調査する。次の (1) ~ (2) という 2 点から簡易評価手法の実現可能性について検証を行う。

(1) 特徴選択による影響の検証では、推定値が正解値をどの程度追従できているか、追従性の点から評価する。また、WHOQOL-BREF の 4 つの領域ごとの追従性や各設問ごとの重要度の高い特徴量にどのような傾向があるのかを明らかにする。

(2) 簡易化と推定精度に関する検証では、センサデータから推定された値のみだけでなく、アンケート回答を併用して HRQOL 評価値を算出する場合の負担と推定精度を明らかにする。

5.1 データセットと推定モデルの構築

実験データとして、半年間、23 歳男性の被験者 1 人に E4 wristband とスマートフォンを装着、所持してもらいライフログを計測した。このとき、データを収集する以外は被験者の行動に制限は設けず、被験者には普段通りの行動を送れるように配慮した。計測したデータはデバイスの充電の際に PC に USB 接続して取り出した。加えて、被験者にはその日の活動内容を踏まえ WHOQOL-BREF のアンケートに回答してもらった。収集するセンサデータの取得間隔は、E4 wristband では 4.3 節に示す間隔で計測を行い、スマートフォンによる現在位置の取得は GPS センサを利用して 10 分間隔で計測した。計測したデータのうち、被験者がアンケートへの回答を忘れた場合、またはスマートデバイスからのデータ計測が失敗した場合に該当日のデータを取り除き、150 日分のライフログとアンケート回答から構成されるデータセットを作成した。

推定モデルは Random Forest アルゴリズムを用いて構築した。Random Forest アルゴリズムはアンサンブル学習に基づく機械学習アルゴリズムであり、複数の判定木を弱判別器として使用し、その結果を弱判別器で積分することで判別結果を

得る。他のアルゴリズムよりも特定のターゲットに対してより短い計算時間でより高い性能を有する特徴をもつことからモデルの構築に採用した。推定モデルの構築は Python ライブラリの 1 つである scikit-learn を使用して実装した。

全特徴量を使用するモデルでは、4.4 節に示す 105 個の特徴量を全て用いて推定モデルを構築し、推定対象日を除くデータで学習し、推定する Leave-one-out 交差検証を行い、評価値を推定した。また、特徴選択された特徴量のみを使用するモデルでは、設問ごとに異なる特徴量を用いて推定モデルを構築し、同様に評価値を推定した。特徴選択ではジニ重要度を選定の基準とした。特徴選択の手順は重要度の高い特徴量から順に 1 つずつ追加し、最も精度が高くなった時の特徴量の組み合わせを採用する前方選択とし、26 項目ごとに最適化されたモデル構築した。ジニ重要度はジニ係数を基にして求められる値で、この値が高いほどその特徴量の重要度は高いとされていることから選定基準として採用した。なお、今回の実験では選択する特徴量の個数は 50 個を最大数として、1 個から 50 個に順に 1 個ずつ増やす中で最も推定精度が高くなった時の組み合わせを特徴選択時の特徴量とした。

5.2 評価方法

各設問の推定精度は適合率と再現率の調和平均である F 値を用いて評価する。

適合率は、1 ～ 5 の回答値うちの特定の点数と推定したデータのうち、実際にその点数であったデータの割合である。再現率は、ある回答値の検証データのうち、正しくその回答値を推定することができたデータの割合である。F 値は、適合率と再現率の調和平均であり、式 (6) で表される。

$$F \text{ 値} = \frac{2 \times \text{適合率} \times \text{再現率}}{\text{適合率} + \text{再現率}} \quad (6)$$

5.3 特徴選択による影響の検証

本節ではどの特徴量が推定精度に効果的かを明らかにするために、特徴選択による影響の検証を行う。

HRQOL 評価値の推定において、全ての特微量を使用して推定した場合と設問ごとに最適化された特微量を用いた場合の特微量を用いて推定した場合を比較する。また、WHOQOL-BREF の 4 つのドメインの点数についても比較を行う。さらに、設問ごとに重要度の高い特微量についても考察する。

5.3.1 推定結果

表 5 に設問ごとの正解値の分散、特徴選択前後の F 値、特徴選択時の特微量の数を示す。学習に用いる特徴選択したことで精度が向上することを確認した。また、特徴選択した場合の結果は全ての特微量を使用した場合の F 値よりも下回ることが無かったことを確認した。特徴選択後に、最も F 値が向上した項目は設問 18 で 22.1%精度が向上し、設問 26 では特徴選択前後で F 値に変化はなかった。全体では平均して 8.6 %の精度の向上が確認された。ドメインごとに見ると、改善率が最も高かったのは身体的領域で 12.8 %，逆に改善率が最も低かったのは環境ドメインで 4.8 %であった。

HRQOL 評価値の推定値と正解値の変動を図 2 に示す。推定値は全ての特微量を用いて推定された場合と、特徴選択した特微量を用いて推定された場合の評価値をプロットしている。ドメインごとの点数を推定した場合の変動を同様にプロットしたものを図 3 に示す。また、これらの相関係数を表 6 に示す。

HRQOL 評価値や 4 つのドメインといった、どのカテゴリにおいても特徴選択後は相関係数が向上することが確認された。

HRQOL 評価値のみの結果では、80~110 日目に見られる下降と上昇している箇所でも正解値を追従できている。また、10 日目や 44 日目、50 日目では全ての特微量を用いた場合には追従できていないが、特徴選択することで追従できていることが確認できる。しかし、評価値の低い部分での推定では精度が悪く、評価値が 2.5 を下回る部分では追従できていない傾向がある。

ドメインごとの結果では、身体的領域では、点数が大きいが低下する際に追従性が低い傾向が見られた。心理的領域では、高得点帯域では追従性が、低得点帯域では追従性が低かった。社会的領域や環境領域では、小さな変化に対する追従性は高いものの、飛び抜けて高い値や低い値は追従できないことが確認された。

表 5: 正解値の分散および特徴選択前後の F 値と特徴選択した際の特徴量数

設問	ドメイン	分散	F 値 [%]		選択個数
			全特徴量	特徴選択後	
1	-	0.925	55.1	63.1	41
2	-	0.757	44.2	56.3	19
3	PHY	0.810	39.7	49.5	5
4	PHY	0.639	40.8	51.3	20
10	PHY	0.798	42.9	54.7	30
15	PHY	1.058	38.4	51.4	33
16	PHY	0.855	31.9	50.2	26
17	PHY	0.637	49.7	60.7	15
18	PHY	0.765	36.9	52.0	6
5	PSY	0.710	39.2	54.2	18
6	PSY	0.649	55.7	60.9	27
7	PSY	0.603	44.2	50.9	21
11	PSY	0.355	59.6	66.1	20
19	PSY	0.684	50.0	59.4	46
26	PSY	0.959	44.9	55.7	14
20	SOC	0.540	48.0	57.8	18
21	SOC	0.053	92.1	93.6	2
22	SOC	0.246	63.5	75.4	10
8	ENV	0.558	51.9	60.6	18
9	ENV	0.732	46.9	52.5	36
12	ENV	0.088	88.8	93.1	2
13	ENV	0.163	85.9	87.8	3
14	ENV	1.190	37.8	49.0	8
23	ENV	0.113	86.2	88.2	2
24	ENV	0.063	90.1	94.6	5
25	ENV	0.092	86.2	86.2	8

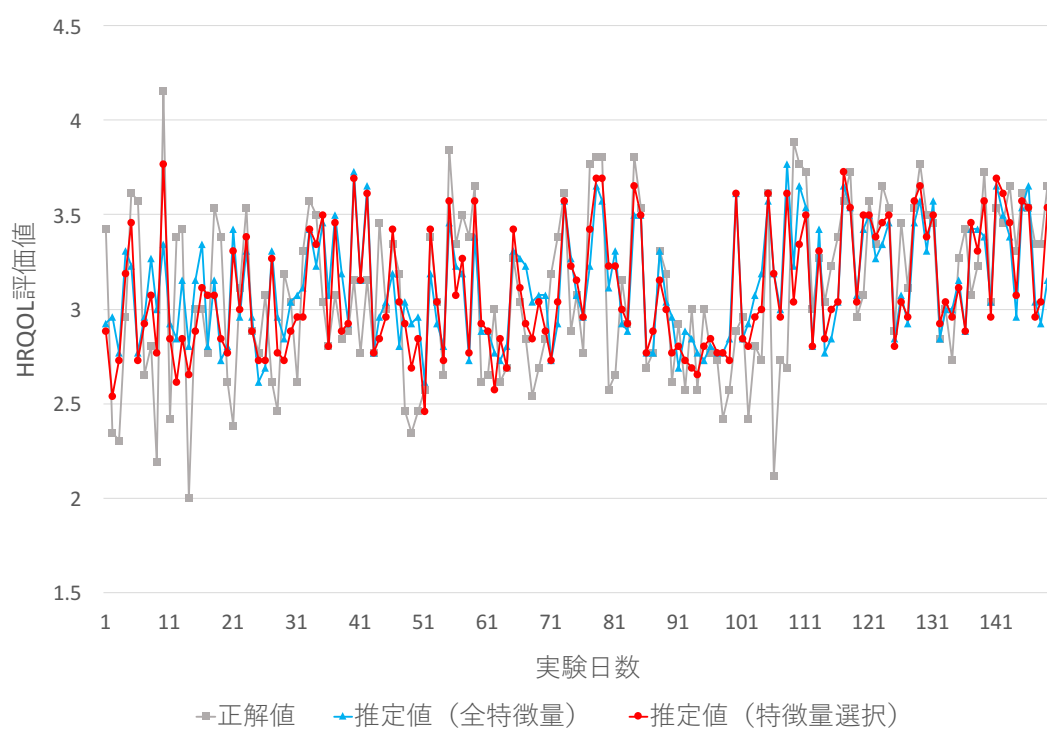
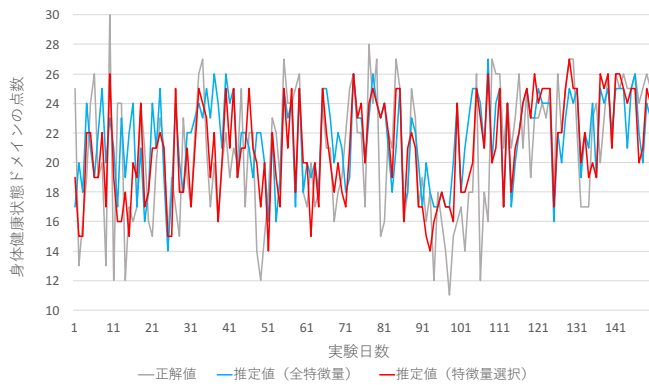
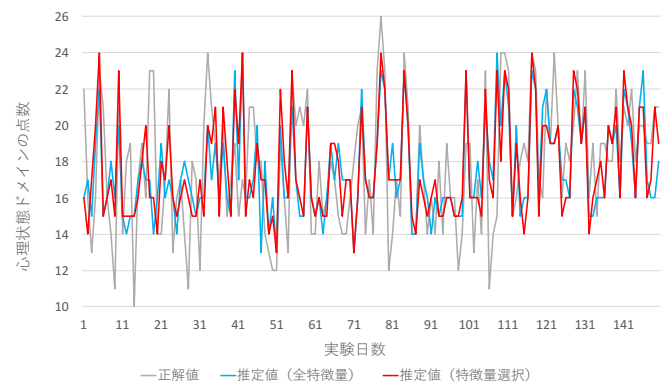


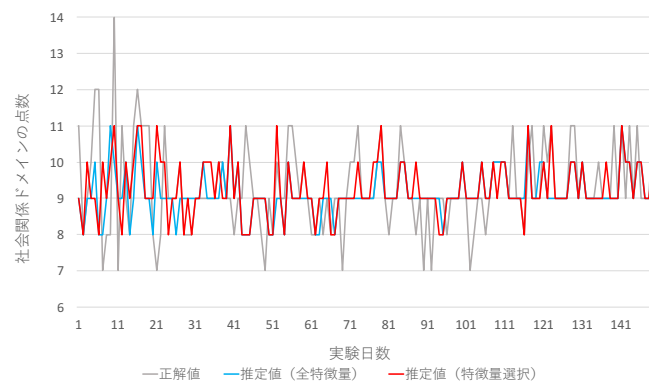
図 2: HRQOL 評価値の推移



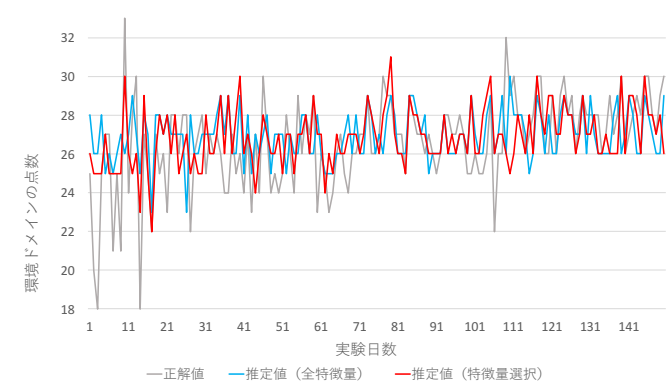
(a) 身体的領域



(b) 心理的領域



(c) 社会的関係



(d) 環境領域

図 3: ドメインごとの点数の推移

表 6: 推定値の追従性

評価区分	全特微量	特徴選択後
HRQOL	0.499	0.646
PHY	0.343	0.509
PSY	0.492	0.604
SOC	0.259	0.426
ENV	0.279	0.588

重要度の高い特徴量の上位5つを表7に示す。全体的に、特徴量のうち一日の総移動量や最も離れた距離の重要度が高い傾向にあることがわかった。また、ドメインごとの結果では、身体的領域では皮膚電気活動や心拍数、LF/HF比などの心理状態に関連した特徴量に加え、一日の総移動量や最も離れた位置までの距離などの移動距離に関連した特徴量の重要度が高かった。心理的領域では一日の総移動量や最も離れた位置までの距離、家や職場での滞在時間などの移動距離や滞在時間に関連した特徴量の重要度が高かった。社会的関係はLF/HF比や心拍数、皮膚体温などの心理状態に関連した特徴量が多かった。環境領域では位置情報に関連した特徴量の重要度が高い設問が存在する一方で、身体情報に関連した特徴量の重要度が高い設問も存在した。

表 7: 重要な特徴量

設問	ドメイン	Top1	Top2	Top3	Top4	Top5
1	-	WholeDist	MaxDist	A_HR_MEAN	A_HR_MED	A_ACC_SUM
2	-	WholeDist	MaxDist	A_HR_MEAN	A_ACC_SUM	A_HR_MED
3	PHY	A_EDA_MEAN	A_EDA_MED	A_EDA_SUM	A_EDA_VAR	S_LH_MAX
4	PHY	MaxDist	WholeDist	A_ACC_VAR	A_ACC_SUM	A_HR_STD
10	PHY	WholeDist	MaxDist	A_HR_MEAN	A_HR_MED	A_EDA_VAR
15	PHY	WholeDist	MaxDist	A_EDA_MED	AroundHomeDist	A_IBL_SUM
16	PHY	A_EDA_MEAN	A_EDA_MED	WholeDist	A_EDA_SUM	MaxDist
17	PHY	MaxDist	WholeDist	A_TEMP_MED	A_TEMP_MEAN	A_HR_MEAN
18	PHY	A_TEMP_MIN	S_LH_MIN	S_TEMP_MIN	A_LH_MIN	A_EDA_VAR
5	PSY	WholeDist	MaxDist	AtHomeTime	AtOfficeTime	A_HR_MEAN
6	PSY	WholeDist	MaxDist	A_HR_SUM	ActiveTime	A_ACC_SUM
7	PSY	A_IBL_MEAN	A_HR_SUM	A_EDA_VAR	A_TEMP_MEAN	A_ACC_SUM
11	PSY	WholeDist	A_TEMP_MIN	S_TEMP_MIN	MaxDist	A_TEMP_MEAN
19	PSY	WholeDist	MaxDist	A_EDA_MAX	A_EDA_STD	A_EDA_SUM
26	PSY	MaxDist	WholeDist	A_EDA_MED	A_HR_MEAN	ActiveTime
20	SOC	WholeDist	MaxDist	A_TEMP_MEAN	A_TEMP_MED	A_HR_MEAN
21	SOC	A_LH_MAX	A_TEMP_MEAN	A_BVP_MEAN	WholeDist	A_TEMP_MED
22	SOC	A_HR_MEAN	A_HR_MED	A_TEMP_MEAN	A_IBL_MEAN	S_BVP_MIN
8	ENV	AtHomeTime	AtOfficeTime	A_BVP_STD	A_TEMP_MEAN	S_ACC_VAR
9	ENV	WholeDist	MaxDist	ActiveTime	tSleepTime	A_EDA_SUM
12	ENV	A_TEMP_MEAN	A_TEMP_MED	A_TEMP_MIN	A_EDA_MEAN	S_EDA_MED
13	ENV	S_EDA_STD	S_EDA_MEAN	A_TEMP_MIN	S_EDA_VAR	S_EDA_SUM
14	ENV	AtOfficeTime	AtHomeTime	MaxDist	WholeDist	ActiveTime
23	ENV	A_TEMP_MIN	A_TEMP_MEAN	A_BVP_MAX	A_BVP_MEAN	A_TEMP_STD
24	ENV	A_BVP_MED	A_BVP_MIN	A_TEMP_MEAN	A_IBL_MEAN	S_IBL_VAR
25	ENV	A_TEMP_MEAN	A_TEMP_MED	A_ACC_SUM	WholeDist	A_ACC_MEAN

5.3.2 推定値の追従性に関する考察

特徴選択により精度が向上することが確認できた。しかし、特徴選択に関わらず、評価値が2.5を下回る場合には追従精度が低下する傾向が確認された。これは、学習に適切な説明能力をもつ特徴量の不足が原因であると考えられる。評価値が低い場合の学習データが少ないために、十分な学習を行うことができず、推定することができなかったと考えられる。

また、ドメインごとの結果では、身体的領域や心理的領域では追従性が低い場合に誤差が小さくなり、社会的関係や環境領域では誤差が大きくなる傾向が確認された。前者では日々の生活において変化しやすい設問が多く、後者では変化しづらい設問が多く属していることに起因していると考えられる。社会関係領域や環境領域に分類される設問では、身体状態や心理状態といった個人的要因ではなく、周囲の環境をどのように認識しているかを主に問うことから、スマートデバイスで測定される刻々と変化する指標とは関連しにくく、推定できない場合の誤差が大きくなったと推測される。

5.3.3 重要度の高い特徴量に関する考察

特徴選択により、全特徴量を使用した場合以上の推定精度へと改善可能なことが明らかになった。また、特徴選択に使用された特徴量は最も多い場合で、設問19の46個であったことから、選択数の最大値を50個としたことは妥当であったことが確認された。今後、他のデータセットに対する検証を実施する場合においても、今回の結果を一つの指標とすることができると考える。

また、重要な特徴量はドメインごとに異なる傾向があることがわかった。身体的領域では心理状態に関連した特徴量、心理的領域では移動距離に関連した特徴量の重要度が高くなっていることが確認された。これは、4つのドメインが対象とする下位項目に応じて分割されてはいるものの、それぞれの要素が互いに影響を及ぼし合っていることが原因であると考えられる。

また、ドメインに属さない項目は、順序は異なるが、上位5項目に同じ特徴量がランクインしていた。これは、生活の質に関する質問と健康状態に関わる設問

という点で違いはあるが，どちらも大まかに全体の生活の質を問いかける設問であるために同様の傾向をもったと推測される．

5.4 簡易化と推定精度に関する検証

本節では，回答値の自動推定による評価手法の簡易化とその精度について検証する．

前節の結果より，全特徴量を用いた場合の推定モデルの相関係数は 0.499 であり，重要な特徴量のみを使用して最適化された推定モデルを用いた場合の相関係数は 0.646 となることを確認した．特徴選択により推定精度が向上しているものの，実環境での使用を視野に入れると，簡易評価手法の追従性は十分ではない．提案手法では，設問ごとに推定モデルを構築しており，項目によって推定精度が高いものから低いものまで，それぞれの推定精度は異なっている．もし，推定精度の低い項目の精度を改善することができれば，全体としての追従性を改善することができる．

5.4.1 推定値とアンケート回答値の混合手法

実環境での利用に向けて，改良した簡易評価手法を提案する．この手法では，全ての項目をセンサデータから推定するのではなく，推定精度が低い項目ではアンケートを実施する．これにより，アンケートに回答する負担の軽減に加えて，評価値の推定精度を向上させることができる．次節では，推定する項目とアンケートを用いて回答する項目の数を変化させたときの推定精度を明らかにする．

5.4.2 混合手法による評価値の算出結果

図 4 に推定精度の低い項目から順に，アンケート回答に置き換えていった場合の，正解値と改良版簡易評価手法の相関係数を示す．推定値は特徴選択時に算出された値を用いた．

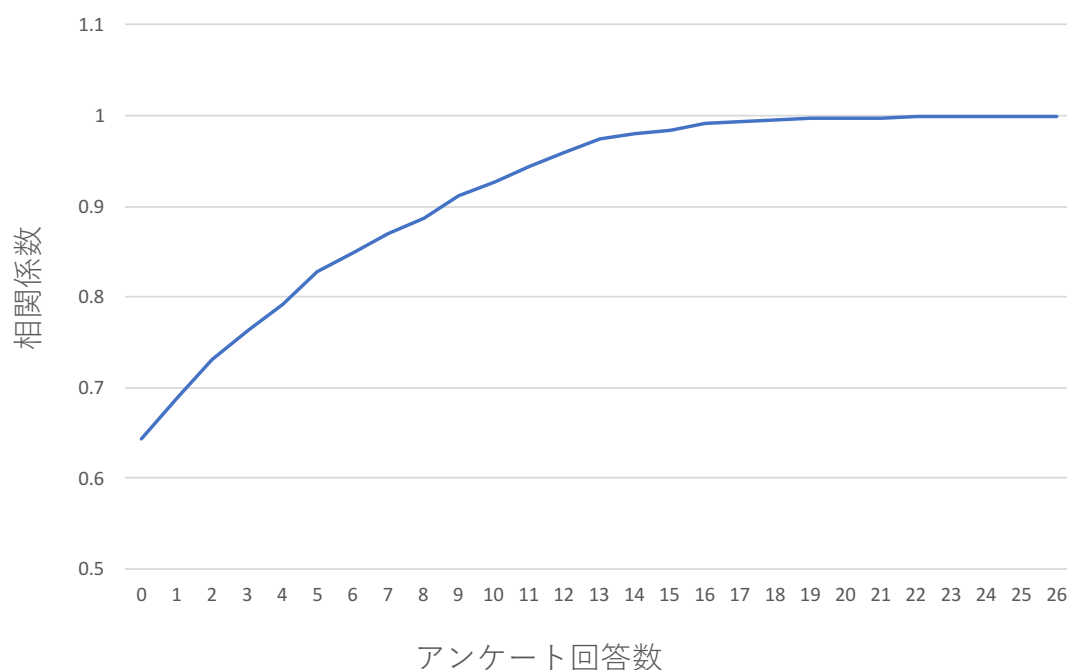


図 4: アンケート数を増やした際の相関係数の変化

アンケートにより回答を行う項目が0問の場合の相関係数は0.645で、5問の場合は0.827、9問の場合は0.912となった。算出に用いるアンケート数を増やすにつれて推定精度が向上し、相関係数が1.0に近づくことが確認できる。

5.4.3 簡易評価手法に関する産業医の先生へのヒアリング

精度が低い項目をアンケートを用いて回答する改良版の手法を検討し、アンケート回答数を変えた場合の推定精度を算出した。この手法では、アンケート数に比例して負担が増加するため、簡易な計測を実現するためには、用途ごとに許容される推定精度を定め、その基準を下回らない精度でアンケートを実施する項目数を決定する必要がある。しかし、どのような用途において、どの程度の精度が許容されるのかは明らかにできていない。

そこで、本手法について、産業医の島津明人先生に実際の現場では簡易評価手法をどのような場面で用いることができるか意見を伺った。以下にヒアリング内容をユースケースとして整理する。以下の2つのユースケースについて、簡易評

価手法を使用する場面と目的，求められる推定精度をまとめる．

1. 精度は低いがアンケートの負担を減らして計測したい場合
2. アンケート数は増えるが正確に計測したい場合

ユースケース 1 はスクリーニングで用いられる．例えば，メンタルヘルス不調が疑われる人をできるだけ広く抽出する場合には，スクリーニングを目的としてユースケース 1 のような検査や調査を使う．多少，「はずれ」があっても不調と思われる人は，漏らさず抽出することが重要なためだと言う．

ユースケース 2 は診断で用いられる．1 のスクリーニングでメンタルヘルス不調が疑われた場合に，本当にうつ病なのかを詳しく検査する際に利用する．

どちらの場合においても，この HRQOL 簡易評価システムを，誰を対象にどんな目的で使うかが重要だと言う．自力で回答できない人（言葉を話せない子ども，認知症患者，アンケートを正しく認識できない人（知的障がい者）など）には，このシステムが有用である．また，どの程度の頻度で測定するかも大事であり，目的に併せて決定する必要があるということであった．

本節で述べた改良版手法では，推定精度が低い項目をアンケート回答に置き換えるごとに精度が向上する．一方で，アンケート回答数が増えると評価値を算出する際の負担が増える懸念もある．ゆえに，使用する用途に応じて推定精度と簡易化度合いを選ぶことが重要であると言える．

6. 簡易評価手法の普及に向けた検証

本章では、今後実施する被験者実験のデータ計測の際に有用なデータセットについて検証を行う。前章の評価実験では、可能な限り長期に渡りライフログを計測し、全日程のデータを用いた交差検証により評価値を推定した。そのため、評価値の推定の際に少なくとも何日間のライフログがあれば十分であるか、どのセンサデータが必要かは考慮されていない。もし、データセットを構築するために必要な期間やセンサの種類を特定することができれば、被験者実験を効率的に進めることができる。そこで、今後の被験者実験に向けた検証として、推定モデル構築に必要な日数とセンサの種類を明らかにする。

また、提案手法では26設問ごとにモデルを構築し各回答値を推定していたが、回帰分析などのアルゴリズムを用いて評価値を直接推定することでより精度良く推定できる可能性がある。そこで、26設問ごとに推定モデルを構築して最終的な評価値を算出する間接推定モデルと直接評価値を推定する直接推定モデルを比較し、推定モデルの構築方法による違いを検証する。

6.1 学習期間を減らした場合の検証

本節では、学習期間の違いによる推定精度の差異について議論する。5章の評価実験では半年間、ライフログとWHOQOL-BREFの回答を収集し続けた。しかしながら、長期間の被験者実験は被験者への負担や使用するデバイスの確保などを考えると、可能な限り短い期間であることが望ましい。

そこで、評価実験において計測した150日分の有効なデータを利用して、学習期間を変更した推定モデルを構築し、推定精度を比較する。

学習期間を10日、20日、30日、40日、50日、60日、75日間に変え、交差検証を行った。例えば、学習期間が10日間の場合には、150日のデータセットのうち1日目から10日目の期間で学習して残りの期間で検証し、次の学習では11日目から20日目の期間で学習して他の期間のデータで検証を行うという手順を繰り返し15回交差検証を行った。75日間の場合には2回交差検証を行った。80日間以上の場合には交差検証を行うことができないため実施しなかった。

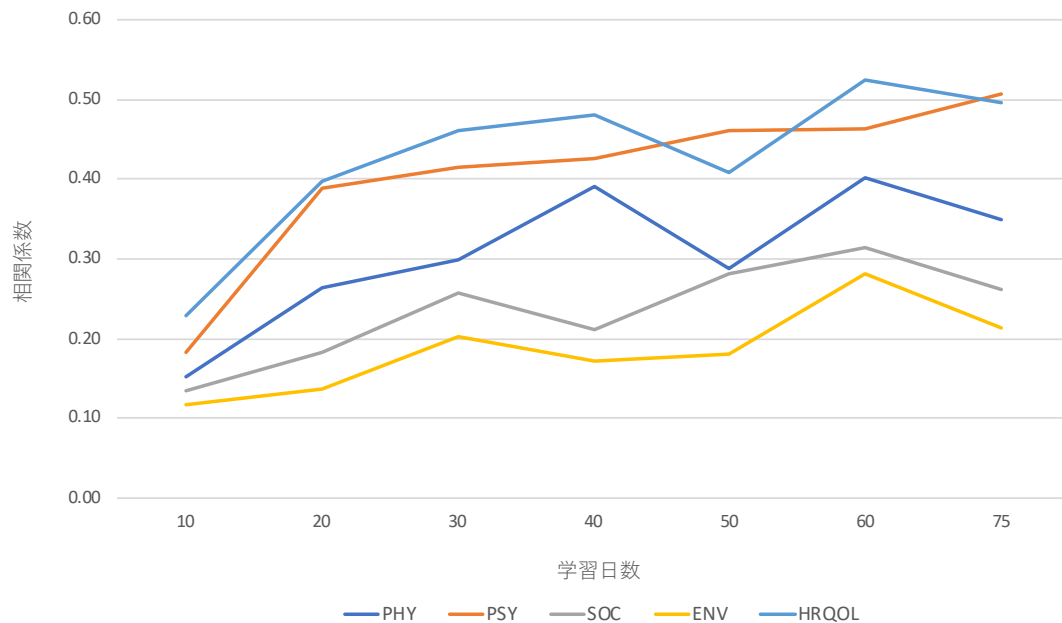


図 5: 学習期間を変えた場合の追従性

6.1.1 実験結果

図 5 に学習期間を変更して推定した場合の HRQOL 評価値の相関係数を示す。HRQOL 評価値では、学習期間が 40 日までの区間では徐々に相関係数が上昇していたが、50 日で一度下がり、60 日で再上昇し、75 日になると再び減少することが確認された。PHY ドメインでは HRQOL 評価値と同様の傾向で、PSY ドメインでは 20 日になると急上昇し、その後は緩やかに上昇した。SOC・ENV ドメインでは全体を通して相関係数が低いことに加えて、30 日までの緩やかな上昇と 40 日での下降、75 日での下降が確認された。

6.1.2 考察

この検証では推定モデルの構築のために最低限必要な学習期間を特定することはできなかった。HRQOL 評価値では、相関係数は学習期間が 50 日と 75 日のときに低下し、特定の数値に収束することはなかった。この原因は、交差検証数が

少ないことに起因すると考えられる。連続した期間を学習データとし、その区間をずらして交差検証を行ったため、学習日数が増加するにつれて交差検証を実施する回数が減少していた。そのため、結果に偏りが発生し、相関係数が低下したと予想される。また、連続した区間を学習データとしたため学習期間内のデータに偏りがあった場合に過学習に陥っていた可能性も考えられる。これらの問題を解決するためには、ランダムに学習データを抽出する、K-分割交差検証などの手法を繰り返し適応することで、解決できる可能性がある。

以上より、今回計測したデータからは最低限必要な学習期間を特定することはできず、推定精度の向上には長期間の計測が必要なことを確認した。

6.2 廉価なデバイスを想定した場合の検証

本節では、廉価なデバイスとして、学習に使用するセンサ数が制限された場合の学習モデルの構築と推定値の算出を行う。これに対し E4 wristband を高価なデバイスを位置づけ、それぞれの推定精度を比較する。

提案手法では、豊富なセンサを搭載している点から E4 wristband とスマートフォンの組み合わせを採用した。E4 wristband は皮膚電気活動センサ、容積脈波センサ、心拍センサ、心拍間隔センサを備え、身体だけでなく心理側面からも計測できる利点を持つ。しかし、日本円で約 18 万円（\$1,690.00¹）と高価なことに加え、普及率が低いという課題を抱える。一方で、最近では、Apple 社の Apple Watch[39] や Fitbit 社の Fitbit Charge HR[40] など比較的に安価なスマートデバイスが消費者向けに発売されてきている。これらのデバイスは加速度センサ、ジャイロセンサ、心拍センサなどのセンサを備えており、簡易に運動量やストレス量、睡眠状態を計測することができる。

そこで、これらのデバイスを E4 wristband の廉価版のスマートデバイスと位置づけ、代替品として用いた場合の推定精度を比較する。もし機能の限られたデバイスを用了場合にも簡易評価手法が有効であるならば、データ収集のコストを下げ、より多くの被験者からライフログを計測できる可能性がある。そこで本節では、廉価デバイスとして加速度センサ、心拍センサのみを搭載したデバイス

¹<https://www.empatica.com/research/e4/>（2018 年 1 月 31 日参照）

を想定し、E4 wristband に搭載された全てのセンサを使用して構築した推定モデルと比較を行い、推定精度と重要度の高い特徴量について議論する。

6.2.1 実験結果

5章の評価実験で計測したデータから加速度センサと心拍センサ、およびスマートフォンで計測したデータを抽出し、廉価なデバイスを想定したデータセットを作成し、推定モデルを構築した。

表8に設問ごとの正解値の分散、特徴選択前後のF値、特徴選択時の特徴量の数を示す。高価なデバイスを使用したときの結果（表6）と比較すると、特徴選択後のF値では全てのセンサを使用した方が平均で2.6%精度が高かった。また、これとは対称に設問4、設問10、設問12、設問16では、廉価デバイスを使用した場合に1.0~6.5%精度が高いことが確認された。

図6に廉価なデバイスを想定したときと効果なデバイスを使用して推定したHRQOL評価値の推移を示す。28日目、51日目付近では高価なデバイスを用いた場合は追従できていることに対して、廉価なデバイスを想定した場合は追従できていないことがわかる。一方で、高価なデバイスを用いた場合と同程度に推定できている日も存在している。

表9に廉価なデバイスを用いて推定したときのHRQOL評価値と4つのドメインの相関係数を示す。高価なデバイスを使用した場合の結果（表6）と比較すると、高価なデバイスを利用した場合に、HRQOL評価値では0.001、PSYでは0.010、SOCでは0.043、ENVでは0.042だけ相関係数が高かった。逆に、PHYでは廉価なデバイスを想定した場合の方が相関係数が0.037低かった。

表10に廉価なデバイスを想定した場合の重要度の高い特徴量を示す。高価なデバイスを使用した場合と同じく、全体の傾向として一日の総移動量や最も離れた位置までの距離などの位置情報に関連した特徴量の重要度が高いことが確認できる。高価なデバイスを使用した場合の結果（表7）と比較すると、設問16では皮膚電気活動センサの代わりに加速度センサと心拍センサから計算された特徴量の重要度が高くなっていることがわかる。

表 8: 廉価なデバイスを想定した場合の正解値の分散および特徴選択前後の F 値と特徴選択した際の特徴量数

設問	ドメイン	分散	F 値 [%]		選択個数
			全特徴量	特徴選択後	
1	-	0.925	54.0	59.4	7
2	-	0.757	45.2	51.7	6
3	PHY	0.810	38.8	42.8	9
4	PHY	0.639	44.9	57.9	3
10	PHY	0.798	49.3	55.8	19
15	PHY	1.058	40.6	49.2	7
16	PHY	0.855	40.6	51.2	6
17	PHY	0.637	53.5	59.0	10
18	PHY	0.765	36.9	44.2	3
5	PSY	0.710	46.5	52.7	24
6	PSY	0.649	42.4	52.9	22
7	PSY	0.603	40.5	47.8	17
11	PSY	0.355	58.8	63.2	25
19	PSY	0.684	51.5	56.1	18
26	PSY	0.959	44.1	47.5	30
20	SOC	0.540	47.7	53.1	22
21	SOC	0.053	92.1	92.1	3
22	SOC	0.246	64.8	71.0	5
8	ENV	0.558	51.0	58.6	8
9	ENV	0.732	44.3	48.3	3
12	ENV	0.088	89.1	93.6	3
13	ENV	0.163	86.2	86.5	3
14	ENV	1.190	45.2	48.2	19
23	ENV	0.113	86.2	86.2	3
24	ENV	0.063	90.1	93.0	2
25	ENV	0.092	86.2	86.2	7

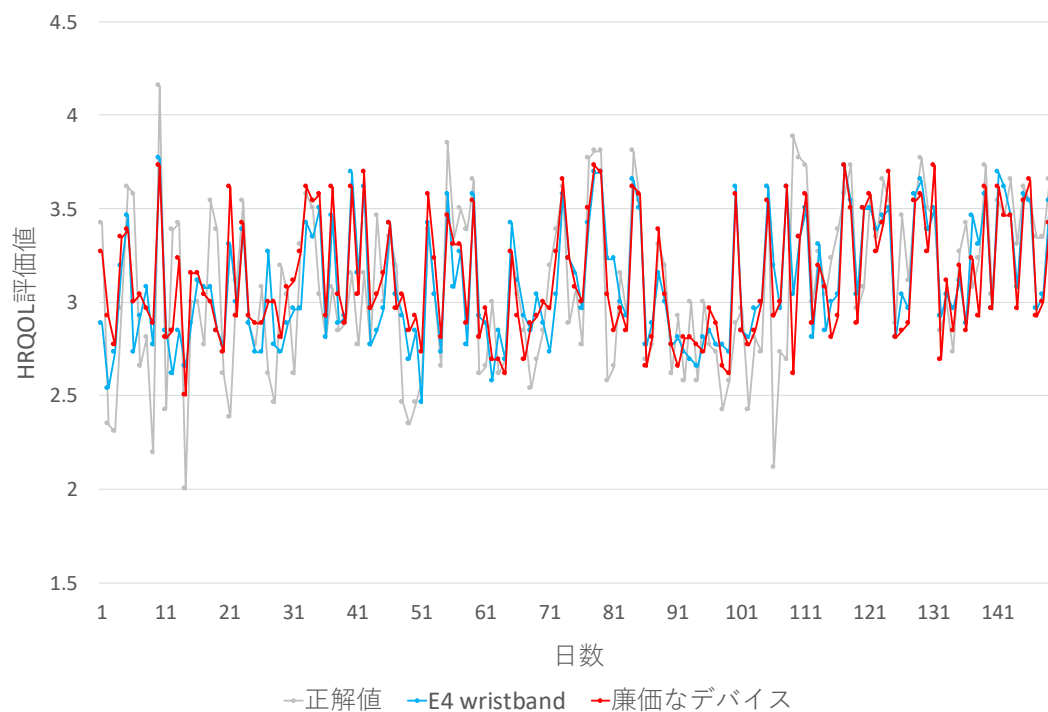


図 6: E4 wristband と廉価なデバイスから得られる特徴量を特徴選択して推定した HRQOL 評価値

表 9: 廉価なデバイスを想定した場合の推定値の追従性

評価区分	全特徴量	特徴選択
HRQOL	0.564	0.645
PHY	0.459	0.546
PSY	0.557	0.593
SOC	0.199	0.383
ENV	0.370	0.546

表 10: 廉価なデバイスを想定した場合の重要な特徴量

設問	ドメイン	Top1	Top2	Top3	Top4	Top5
1	-	WholeDist	MaxDist	A_HR_MEAN	A_HR_MED	A_ACC_SUM
2	-	WholeDist	MaxDist	A_HR_MEAN	A_ACC_SUM	A_HR_MED
3	PHY	ActiveTime	WholeDist	MaxDist	A_HR_MED	A_HR_MEAN
4	PHY	A_ACC_SUM	A_HR_STD	WholeDist	A_ACC_VAR	MaxDist
10	PHY	WholeDist	MaxDist	A_HR_MEAN	A_HR_MED	AroundHomeDist
15	PHY	WholeDist	MaxDist	AroundHomeDist	tSleepTime	AtHomeTime
16	PHY	WholeDist	A_HR_MAX	A_ACC_VAR	A_ACC_STD	MaxDist
17	PHY	MaxDist	WholeDist	A_HR_MEAN	A_ACC_VAR	A_ACC_STD
18	PHY	AtHomeTime	S_HR_MIN	S_HR_MED	S_HR_MEAN	WholeDist
5	PSY	WholeDist	MaxDist	AtHomeTime	AtOfficeTime	A_HR_MEAN
6	PSY	WholeDist	MaxDist	ActiveTime	A_HR_SUM	A_ACC_SUM
7	PSY	A_HR_SUM	A_HR_MED	S_HR_MIN	ActiveTime	A_HR_MEAN
11	PSY	WholeDist	A_HR_MIN	MaxDist	ySleepTime	AtHomeTime
19	PSY	WholeDist	MaxDist	A_HR_MEAN	A_HR_MED	S_HR_MED
26	PSY	WholeDist	MaxDist	ActiveTime	A_HR_MEAN	A_ACC_VAR
20	SOC	WholeDist	MaxDist	A_HR_MEAN	A_ACC_SUM	AtOfficeTime
21	SOC	A_HR_MAX	WholeDist	A_HR_MEAN	S_HR_MAX	A_HR_MED
22	SOC	A_HR_MEAN	A_HR_MED	WholeDist	S_HR_MEAN	S_ACC_STD
8	ENV	AtOfficeTime	S_ACC_VAR	AtHomeTime	S_ACC_STD	A_ACC_MEAN
9	ENV	WholeDist	MaxDist	ActiveTime	tSleepTime	A_HR_SUM
12	ENV	A_HR_STD	A_HR_VAR	S_HR_MIN	A_ACC_VAR	A_HR_MIN
13	ENV	A_HR_MIN	S_HR_MED	A_HR_STD	A_ACC_VAR	S_HR_MEAN
14	ENV	AtOfficeTime	AtHomeTime	MaxDist	WholeDist	ActiveTime
23	ENV	A_ACC_MEAN	A_ACC_SUM	A_HR_SUM	S_HR_MIN	AtHomeTime
24	ENV	A_HR_MIN	A_HR_MED	A_HR_MAX	WholeDist	S_HR_MED
25	ENV	WholeDist	A_ACC_MEAN	A_HR_SUM	A_HR_MED	A_HR_MAX

6.2.2 考察

廉価なデバイスを使用した場合の結果は、高価なデバイスを使用した場合と比較して推定精度が若干劣るものの大きな差異は確認されなかった。この要因として、加速度センサと心拍センサが廉価デバイスに搭載されていないセンサを代替したことが挙げられる。重要度の高い特徴量に焦点を当てると、高価なデバイスを使用した場合に皮膚電気活動や容積脈波、皮膚体温センサに関連した特徴量の重要度が高かった設問では、廉価なデバイスを使用した場合は心拍センサに関連した特徴量の重要度が高くなる傾向が確認された。心拍数はストレス量や精神状態によっても変化するため、心理状態に関連のある特徴量を代替できたと推測される。この結果より、加速度センサと心拍センサによって、皮膚電気活動センサ、容積脈波センサ、心拍間隔センサ、皮膚体温センサから算出される特徴量を補完できる可能性が示唆された。

しかし、この結果についてはまだ検討の余地がある。なぜなら、今回の実験で計算していた特徴量に対しては代替が可能であったが、現在の手法では計算していない特徴量を追加するなど、さらに解析を進めれば、加速度センサと心拍センサで置き換えることのできない特徴量を計算できる可能性があるためである。

6.3 評価値を直接推定する場合の検証

5章の評価実験では設問ごとの変化を把握するために26設問ごとにモデルを構築して各回答値を推定していたが、HRQOL 評価値を算出することのみを目標とするなら回帰分析などのアルゴリズムを用いて直接回答値を推定することでより精度良く推定できる可能性がある。

そこで、本検証ではHRQOL 評価値を推定対象とする推定モデルを構築し、その推定精度を提案手法と比較する。HRQOL 評価値はカテゴリカルな数値でないため、回帰モデルを構築する。推定モデルはRandom Forest Regression アルゴリズムを用いて構築した。モデルは5.1節と同様にscikit-learnを用いて構築した。全特徴量を使用するモデルでは、4.4節に示す105個の特徴量を全て用いて推定モデルを構築し、Leave-one-out 交差検証を行い、評価値を推定した。特徴選択後

のモデルではジニ重要度を基に選定し、推定モデルを構築した。

26 設問ごとに回答値を推定し、評価値を求めるモデルを間接推定モデル、回帰分析モデルによって評価値を算出するモデルを直接推定モデルとして、それぞれのモデルの比較を行う。

6.3.1 実験結果

HRQOL 評価値の正解値および、間接推定モデルと直接推定モデルを用いて推定した際の推定値の変動を図 7 に示す。推定値は特徴選択後の結果のみを掲載している。また、ドメインごとの点数を推定した場合の変動を図 8 に示す。加えて、それぞれのモデルの特徴選択前後の相関係数を表 11 に、分散を表 12 に示す。

HRQOL 評価値では、2 日目、5 日目、10 日目をはじめとして、直接推定した場合に変動が小さくなり、正解値の追従性が低下することが確認された。逆に身体的領域では、130–135 日目の期間においては、直接推定することでより正解値に近い値が推定された。しかし、128 日目、140 日目では推定値が正解値を大きく下回る結果となった。また、心理的領域と社会的関係の 2 領域では、全体的に直接推定した際に値の変動が小さくなり、さらに、低い点数では間接推定モデルと同様に追従性が下がる傾向が見られた。環境領域では、変動が小さくなることに加え、直接推定した場合に、間接推定モデルと同じかそれよりも低い点数が推定される傾向が確認された。

相関係数に着目すると、いずれの評価区分においても間接推定モデルと直接推定モデルには大きな差異は見られなかった。僅かな差ではあるが、身体的領域と心理的領域では直接推定モデルを使用した場合に高いことが、それ以外の評価区分では間接推定モデルの方が高くなることが確認された。点数の分散はモデルの構築に使用する特徴量の数に関わらず、全ての評価区分で直接推定した場合に値が小さくなる傾向が確認された。

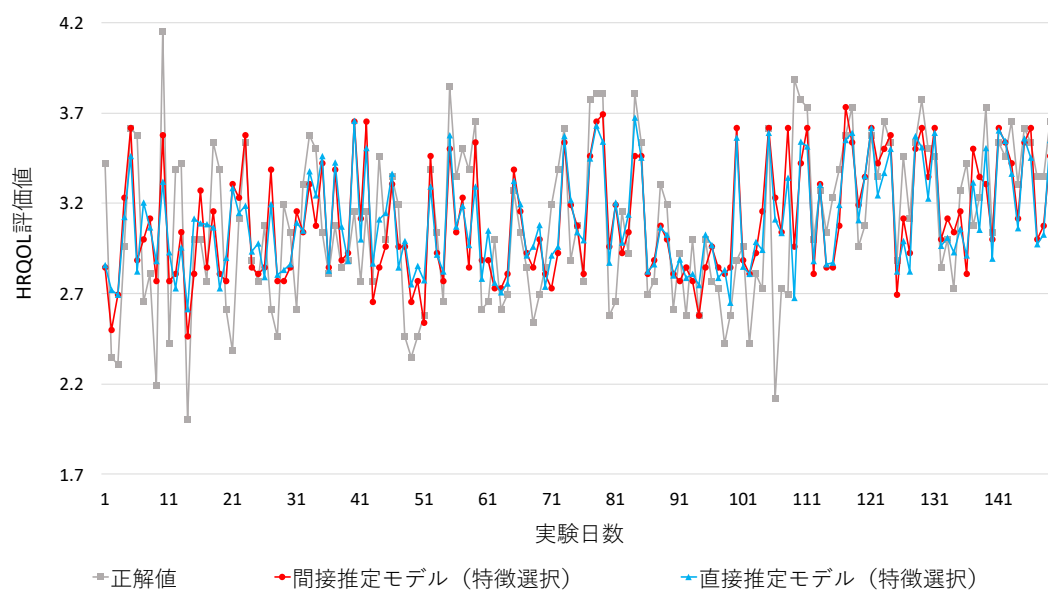
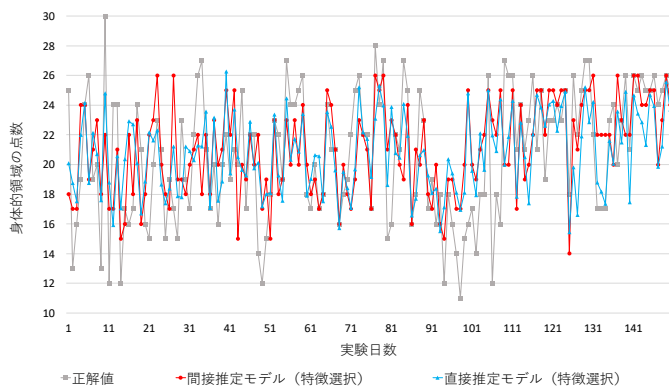
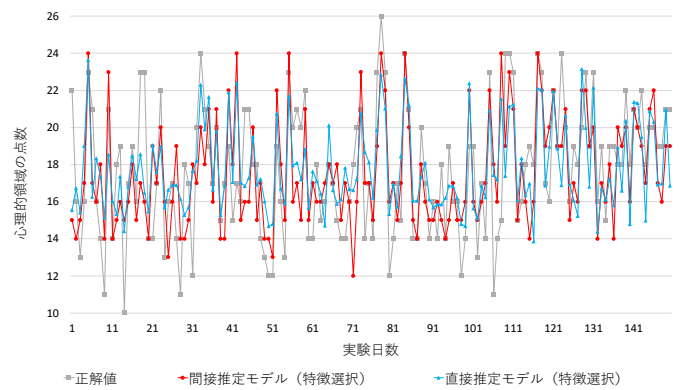


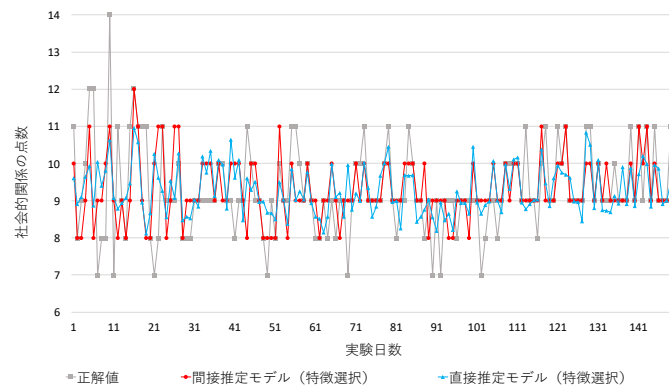
図 7: HRQOL 評価値の推移



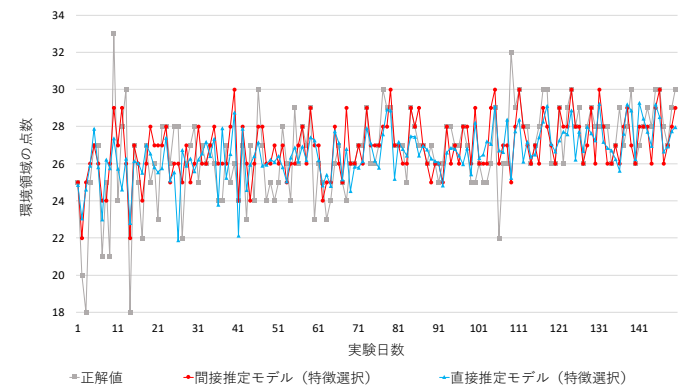
(a) 身体的領域



(b) 心理的領域



(c) 社会的関係



(d) 環境領域

図 8: ドメインごとの点数の推移

表 11: 間接推定モデルと直接推定モデルで算出した推定値と正解値の相関係数

評価区分	間接推定モデル		直接推定モデル	
	全特徴量	特徴選択	全特徴量	特徴選択
HRQOL	0.499	0.646	0.542	0.626
PHY	0.343	0.509	0.457	0.550
PSY	0.492	0.604	0.529	0.623
SOC	0.259	0.426	0.361	0.421
ENV	0.279	0.588	0.457	0.539

表 12: 間接推定モデルと直接推定モデルで算出した推定値の分散

評価区分	正解値	間接推定モデル		直接推定モデル	
		全特徴量	特徴選択	全特徴量	特徴選択
HRQOL	0.189	0.081	0.099	0.063	0.077
PHY	18.375	8.342	9.408	4.609	6.919
PSY	12.082	7.159	8.265	4.152	5.216
SOC	1.403	0.323	0.689	0.318	0.406
ENV	5.558	1.496	2.349	1.351	1.805

6.3.2 考察

直接推定モデルによる推定は、間接推定モデルと比較すると相関係数においては大きな差異は確認されなかった。その一方で、推定値の分散は間接推定モデルよりも小さくなっていることが確認された。これは、直接推定モデルでは推定値として平均値に近い値が算出され易い傾向があったことが原因のひとつとして考えられる。このような値が増加したことで相関係数が向上する一方で、推定値の多様性が減少し、分散が小さくなったと推測される。この問題を解決するためには、推定モデルを構築する際の教師データの回答値の割合を均一に近付けることで改善できる可能性がある。

また、この問題は間接推定モデルを使用する場合においても同様で、特徴選択した後のモデルでも、正解値の分散と比べると半分程度となっている。そのため、間接推定する場合にもモデル構築前に教師データの均一化の必要があると考えられる。

7. 結論

本研究では、HRQOL 評価値を継続的に測定するために、スマートデバイスを用いてアンケートへ回答する負担を軽減する HRQOL 簡易評価手法を提案した。提案手法を実現するためには、簡易評価手法を用いた場合の推定精度と簡易さの程度やどのような説明変数が推定に必要なかを明らかにする必要がある。本手法の実現可能性を評価するために、半年間に渡り一人の被験者から収集したライフログとアンケート回答値を元に構築したデータセットを用いて評価実験を行った。

実験の結果より、推定モデルを構築する特徴選択した場合には、相関係数 0.646 で正解値を追従できることを確認した。また、重要度の高い特徴量について分析を行い、ドメインごとに異なる傾向があることを明らかにした。身体的状態ドメインでは心理状態と移動距離に関連する特徴量が、心理状態ドメインでは移動距離に関連する特徴量が、社会関係ドメインでは心理状態に関連する特徴量が、環境ドメインでは身体状態や移動距離に関連する特徴量が重要とされることがわかった。加えて、推定精度の改善を目的として、推定値とアンケート回答を併用する混合モデルを構築し、簡易化と推定精度に関する検証を行った。実験の結果より、アンケート数が 5 問の場合には 0.827、9 問の場合には 0.912 の相関係数で推定できることを確認し、求める推定精度に応じて評価値の算出における負担を調節できる可能性を示した。加えて、簡易評価手法の活用に関して産業医の先生にヒアリングを行い、実際の計測における使用目的と求められる精度をユースケースとしてまとめた。

さらに、今後の被験者実験に向けて、推定モデル構築に必要な実験期間とセンサの種類を明らかにするための検証を実施した。学習期間に関する検証では、最低限必要な学習期間を特定することはできず、推定精度の向上には長期間の計測が必要なことを確認した。使用するセンサに関する検証では、ウェアラブルデバイスに搭載されたセンサを加速度センサと心拍センサのみであっても、相関係数 0.645 で正解値を追従できることが明らかになり、加速度センサと心拍センサによって皮膚電気活動センサ、容積脈波センサ、心拍センサ、心拍間隔センサを代替できる可能性があることがわかった。評価値を直接推定する検証では、直接推定モデルと間接推定モデルの相関係数には大きな差異が無いことを明らかにした。

一方で、分散値はどちらのモデルでも小さいことが確認された。この結果より、推定モデルを構築する際の教師データの回答値の割合を均一に近付ける必要があることがわかった。

今後の課題

今後の課題として、推定精度の向上と被験者間での差異の検証が挙げられる。推定精度を向上させるためには、現在計測しているセンサデータから新たな特徴量を計算する以外に、新たなデバイスを使用することで推定精度を向上できる可能性がある。今回は、腕に装着するデバイスを用いているが、JINS MEME[41]などスマートアイウェアを用いて頭の動きを計測すれば、うなずきの回数から、他人との関係の良好さの指標、会話への集中度合い、あるいは参加度合いを求めることができ、評価値推定の入力値として用いることができる可能性がある。評価実験において、最も推定精度の低かった社会関係領域に属する設問の推定精度の向上が期待できる。また、被験者間での差異の検証として、評価実験では一人の被験者から得られたデータを対象としていたため、複数の被験者に対する評価実験を行い、一般性について検証を行う必要がある。

HRQOL 簡易評価手法の活用

HRQOL 簡易評価手法の活用の可能性として、自力で回答することができない人に対する使用が挙げられる。これまでの QOL 調査では調査票が用いられてきたが、調査票には記憶の限界、想起バイアス、気分一致効果、回答能力差などの問題があることが指摘されている。一方、提案手法では、センサデータから評価値を算出するため、被験者の負担を軽減しつつ、記憶能力や主観に左右されない評価値を得ることが可能であるため、その問題を回避できる可能性がある。そのため、特に、幼児や高齢者など回答能力が低い被験者に関しては、アンケート回答の推定が役立つ可能性が高い。これらのことから提案手法は、実際の医療現場や労働管理の現場で有効に活用できると考える。

謝辞

本研究を進めるにあたり、安本慶一 教授には、ご多用中にも関わらず、数多くの貴重なご助言をいただいたほか、充実した研究環境の整備など、研究活動を手厚くご支援いただきました。感謝の意を表すとともに、心より厚く御礼申し上げます。

金谷重彦 教授には、ご多用中にも関わらず、副指導教官として様々なご助言をいただきました。中間発表では異なる視点から有用なコメントをいただき、提案手法の有用性の深掘りに繋げることができました感謝の意を表すとともに、心より厚く御礼申し上げます。

荒川豊 准教授には、ご多用中にも関わらず、発表の練習や論文の添削などでの的確なご指導及びご指摘をいただくことに加え、産業医の先生方をご紹介いただき、研究内容について専門家の方からの意見を伺うことができました。また、共同研究では研究発表では経験することのできない経験と幅広い知見を得ることができ、自身の成長にも繋がりました。感謝の意を表すとともに、心より厚く御礼申し上げます。

諏訪博彦 助教授には、ご多用中にも関わらず、データ解析や機械学習などご専門の立場からご指導及びご指摘をいただきました。また、国際会議でのバンケットの切り抜け方など、研究面以外でも役立つ知見をご教授いただきました。感謝の意を表すとともに、心より厚く御礼申し上げます。

水本旭洋 特任助教には、ご多用中にも関わらず、本研究のテーマの決定から論文の投稿や学会発表に至るまで、熱心なご指導及びご助言をいただきました。これまで研究経験の無かった私に研究の基礎から 教えていただき、2 年間でここまで研究を進めることができました。また、所属研究室 OB でもあり、学生に非常に近い立場からの助言もいただきました。感謝の意を表すとともに、心より厚く御礼申し上げます。

藤本まなと 助教には、ご多用中にも関わらず、論文執筆や発表練習の際に的確なご指導及びご指摘をいただきました。また、論文を書くに当たっての心構えやポリシーなど、身になるご助言をいただきました。感謝の意を表すとともに、心より厚く御礼申し上げます。

北里大学 島津明人 教授，産業保健コンサルティング事務所 アルク 梶木繁之 医師，東京大学医学部附属病院 22 世紀医療センター運動器疼痛メディカルリサーチ&マネジメント講座 松平浩 特任教授には，ご多用中にも関わらず，臨床心理学および精神衛生を専門とするお立場から本研究に関して助言をいただき，研究内容をより深めることができました．感謝の意を表すとともに，心より厚く御礼申し上げます．

金岡恵 事務補佐員，山内奈緒 事務補佐員，小川恵理 事務補佐員には，学会や出張に関する事務処理を始め，研究生活の様々な場面でご支援いただきましたこと，謹んで感謝申し上げます．

ユビキタスコンピューティングシステム研究室の学生の皆様には，多くの研究に対するご助言をいただいたほか，公私ともにお世話になりました．心より感謝を申し上げます．

最後に，今日まで学生生活を様々な面から支えていただいた父母をはじめ，家族に心より感謝申し上げます．

参考文献

- [1] Lillebeth Larun, Lena V Nordheim, Eilin Ekeland, Kåre Birger Hagen, and Frode Heian. Exercise in prevention and treatment of anxiety and depression among children and young people. *The Cochrane Library*, 2006.
- [2] Stuart Biddle. Physical activity and mental health: evidence is growing. *World Psychiatry*, Vol. 15, No. 2, pp. 176–177, 2016.
- [3] Akira Babazono, Chihoko Kame, Reiko Ishihara, Eiji Yamamoto, and Alan L Hillman. Patient-motivated prevention of lifestyle-related disease in japan: A randomized, controlled clinical trial. *Disease Management & Health Outcomes*, 2007.
- [4] Cabinet Office Government of Japan:. International survey of youth attitude 2013. http://www8.cao.go.jp/youth/english/survey/2013/pdf_index.html.
- [5] Asma Ghandeharioun, Szymon Fedor, Lisa Sangermano, Dawn Ionescu, Jonathan Alpert, Chelsea Dale, David Sontag, and Rosalind Picard. Objective assessment of depressive symptoms with machine learning and wearable sensors data. In *Proc. International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII), San Antonio, Texas*, 2017.
- [6] Enrique Garcia-Ceja, Venet Osmani, and Oscar Mayora. Automatic stress detection in working environments from smartphones’ accelerometer data: a first step. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, Vol. 20, No. 4, pp. 1053–1060, 2016.
- [7] Natasha Jaques, Sara Taylor, Ehimwenma Nosakhare, Akane Sano, and Rosalind Picard. Multi-task learning for predicting health, stress, and happiness.
- [8] Andrey Bogomolov, Bruno Lepri, Michela Ferron, Fabio Pianesi, and Alex Sandy Pentland. Daily stress recognition from mobile phone data,

- weather conditions and individual traits. In *Proceedings of the 22nd ACM international conference on Multimedia*, pp. 477–486. ACM, 2014.
- [9] Pascal Budner, Joscha Eirich, and Peter A Gloor. ” making you happy makes me happy”-measuring individual mood with smartwatches. *arXiv preprint arXiv:1711.06134*, 2017.
- [10] 埜本慶太郎, 宮崎亮, 長谷川力, 米井嘉一. 3次元加速度センサを用いた「睡眠の質」評価の試み. 同志社大学理工学研究報告, Vol. 51, No. 1, pp. 28–36, 2010.
- [11] 足立稔, 笹山健作, 沖嶋今日太, 角南良幸, 塩見優子. 加速度センサー付歩数計を用いた中学生の日常生活での身体活動量評価の検討. 体力科学, Vol. 58, No. 2, pp. 275–284, 2009.
- [12] 海老根直之, 島田美恵子, 田中宏暁, 西牟田守, 吉武裕, 齊藤慎一, PETER JH JONES. 二重標識水法を用いた簡易エネルギー消費量推定法の評価. 体力科学, Vol. 51, No. 1, pp. 151–163, 2002.
- [13] The WHOQOL Group. The development of the world health organization quality of life assessment instrument (the whoqol). In *Quality of life assessment: International perspectives*, pp. 41–57. Springer, 1994.
- [14] 土井由利子. 特集: 保健医療分野における QOL 研究の現状総論-QOL の概念と QOL 研究の重要性. *J. Natl. Inst. Public Health*, Vol. 53, pp. 176–180, 2004.
- [15] Bert Spilker. *Quality of Life and Pharmacoeconomics in Clinical Trials*, chapter Taxonomy of quality of life, pp. 25–31. Lippincott Williams & Wilkins, 1996.
- [16] Bert Spilker. *Quality of Life and Pharmacoeconomics in Clinical Trials*, chapter Introduction, pp. 1–10. Lippincott Williams & Wilkins, 1996.

- [17] Betty S Gilson, JOHN S Gilson, Marilyn Bergner, RA Bobbit, Shirley Kressel, William E Pollard, and Michael Vesselago. The sickness impact profile. development of an outcome measure of health care. *AJPH DECEMBER*, Vol. 65, No. 12, pp. 1304–1310, 1975.
- [18] John E Ware and Barbara Gandek. Overview of the sf-36 health survey and the international quality of life assessment (iqola) project. *J Clin Epidemiol*, Vol. 51, No. 11, pp. 903–912, 1998.
- [19] John E. Ware Jr. Sf-36 health survey update. *Spine*, Vol. 25, No. 24, pp. 3130–3139, 2000.
- [20] EuroQol Research Foundation. Eq-5d. <https://euroqol.org/>.
- [21] Sonja M Hunt, SP McKenna, J McEwen, EM Backett, Jan Williams, and Evelyn Papp. A quantitative approach to perceived health status: a validation study. *Journal of Epidemiology & Community Health*, Vol. 34, No. 4, pp. 281–286, 1980.
- [22] THE WHOQOL GROUP. The world health organization quality of life assessment (WHOQOL): Development and general psychometric properties. *Social Science & Medicine*, Vol. 46, No. 12, pp. 1569–1585, 1998.
- [23] World Health Organization. Development of the world health organization whoqol-bref quality of life assessment. Technical report, WHO., 1996.
- [24] Michael Herdman, Claire Gudex, Andrew Lloyd, MF Janssen, Paul Kind, David Parkin, Gouke Bonsel, and Xavier Badia. Development and preliminary testing of the new five-level version of eq-5d (eq-5d-5l). *Quality of life research*, Vol. 20, No. 10, pp. 1727–1736, 2011.
- [25] 福原俊一, 日野邦彦, 加藤孝治, 富田栄一, 湯浅志郎, 奥新浩晃. C 型肝炎ウイルスによる慢性肝疾患の health related qol の測定. *肝臓*, Vol. 38, No. 10, pp. 587–595, 1997.

- [26] David W Brown, Lina S Balluz, Gregory W Heath, David G Moriarty, Earl S Ford, Wayne H Giles, and Ali H Mokdad. Associations between recommended levels of physical activity and health-related quality of life findings from the 2001 behavioral risk factor surveillance system (brfss) survey. *Preventive medicine*, Vol. 37, No. 5, pp. 520–528, 2003.
- [27] 角田明良, 中尾健太郎, 高田学, 神山剛一, 平塚研之, 山崎勝雄, 鈴木直人, 林征洋, 保田尚邦, 草野満夫. 大腸癌術後1年間の qol の解析. 日本消化器外科学会雑誌, Vol. 37, No. 10, pp. 1603–1609, 2004.
- [28] 小西香苗, 百武愛子, 村松宰. 女子大学生における食事パターンと健康関連 qol との関連. 信州公衆衛生雑誌, Vol. 7, No. 2, pp. 83–94, 2013.
- [29] 杉山憲司, 小山雄一, 根岸洋人. 東洋大学生の学生生活の qol (その 2): 大学生活の qol と who/qol-26 日本語版の関連性の分析. 東洋大学児童相談研究, Vol. 19, pp. 27–46, 2000.
- [30] 上田恵美子, 古川文子, 小林敏生. スタッフナースの健康関連 qol に職業性ストレス要因, 緩衝要因, 個人要因が及ぼす影響. 日本看護研究学会雑誌, Vol. 29, No. 5, pp. 5-39–5-47, 2006.
- [31] 佐藤至英, 戸澤希美. 独居高齢者のストレスと qol との関係. 北方圏生活福祉研究所年報, Vol. 9, pp. 39–45, 2003.
- [32] Lars E Sörensen, Mika M Pekkonen, Kaisa H Männikkö, Veikko A Louhevaara, Juhani Smolander, and Markku J Alén. Associations between work ability, health-related quality of life, physical activity and fitness among middle-aged men. *Applied ergonomics*, Vol. 39, No. 6, pp. 786–791, 2008.
- [33] Bin Nordin Rusli, Bin Abdin Edimansyah, and Lin Naing. Working conditions, self-perceived stress, anxiety, depression and quality of life: a structural equation modelling approach. *BMC public health*, Vol. 8, No. 1, p. 48, 2008.

- [34] 吉武裕. エネルギー代謝測定法の応用的展開. 臨床スポーツ医学= The journal of clinical sports medicine, Vol. 18, No. 4, pp. 419–425, 2001.
- [35] 田崎美弥子, 中根允文. WHO/QOL-26 手引 改訂版. 金子書房, 2007.
- [36] Empatica Inc. E4 eda/gsr sensor. <https://www.empatica.com/research/e4/>.
- [37] Marek Malik. Heart rate variability. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, Vol. 1, No. 2, pp. 151–181, 1996.
- [38] 山口勝機ほか. 心拍変動による精神負荷ストレスの分析. 研究紀要. 志學館大学= Research bulletin of the Faculty of Humanities, Shigakukan University, Vol. 31, No. 1, pp. 1–10, 2010.
- [39] Apple watch - compare - apple. <https://www.apple.com/watch/compare/>.
- [40] Fitbit charge hr wireless heart rate + activity wristband. <https://www.fitbit.com/us/chargehr>.
- [41] Jins inc.: es | products | jins meme. <https://jins-meme.com/en/products/es/>.

付録

A. F 値の算出に使用した値

5 章および, 6 章の検証にて, 推定精度の評価尺度である F 値を算出する際に得られた適合率と再現性を以下に示す.

A.1 全てのセンサデータを用いた場合

5 章の評価実験にて, 各設問の推定精度の算出の際に得られた適合率, 再現性, F 値を以下に示す. 算出した全ての特徴量を使用した場合の各数値を表 13 に, 特徴選択を行った場合の各数値を表 14 に示す.

表 13: 全特徴量を使用して推定した際の適合率, 再現性, F 値

設問	ドメイン	適合率 [%]	再現性 [%]	F 値 [%]
1	-	53.1	58.0	55.1
2	-	43.6	45.3	44.2
3	PHY	39.0	42.0	39.7
4	PHY	35.9	54.0	40.8
10	PHY	42.1	44.0	42.9
15	PHY	36.2	41.3	38.4
16	PHY	28.2	36.7	31.9
17	PHY	46.0	54.0	49.7
18	PHY	35.9	45.3	36.9
5	PSY	37.7	41.3	39.2
6	PSY	55.4	56.7	55.7
7	PSY	46.6	50.7	44.2
11	PSY	57.2	68.7	59.6
19	PSY	50.2	54.0	50.0
26	PSY	42.1	52.0	44.9
20	SOC	50.2	52.0	48.0
21	SOC	89.6	94.7	92.1
22	SOC	61.5	72.0	63.5
8	ENV	49.8	60.0	51.9
9	ENV	47.7	52.0	46.9
12	ENV	85.8	92.0	88.8
13	ENV	82.1	90.0	85.9
14	ENV	38.0	39.3	37.8
23	ENV	82.2	90.7	86.2
24	ENV	87.1	93.3	90.1
25	ENV	82.2	90.7	86.2

表 14: 特徴選定して推定した際の適合率, 再現性, F 値

設問	ドメイン	適合率 [%]	再現性 [%]	F 値 [%]
1	-	62.3	66.0	63.1
2	-	55.3	57.3	56.3
3	PHY	49.3	50.0	49.5
4	PHY	51.4	58.0	51.3
10	PHY	46.4	48.7	47.1
15	PHY	56.3	56.7	55.9
16	PHY	51.0	52.0	50.2
17	PHY	59.7	62.0	60.7
18	PHY	51.1	57.3	52.0
5	PSY	53.6	55.3	54.2
6	PSY	60.9	61.3	60.9
7	PSY	52.0	54.7	50.9
11	PSY	63.3	72.0	66.1
19	PSY	60.0	62.0	59.4
26	PSY	56.4	60.0	55.7
20	SOC	57.3	59.3	57.8
21	SOC	92.8	94.7	93.6
22	SOC	74.2	78.7	75.4
8	ENV	45.9	53.3	47.2
9	ENV	52.9	56.7	52.5
12	ENV	92.6	94.0	93.1
13	ENV	85.1	90.7	87.8
14	ENV	48.8	50.0	49.0
23	ENV	88.3	90.7	88.2
24	ENV	94.8	95.3	94.6
25	ENV	82.2	90.7	86.2

A.2 廉価なデバイスを想定した場合

6.2 節の検証にて，各設問の推定精度の算出の際に得られた適合率，再現性，F 値を以下に示す．算出した全ての特徴量を使用した場合の各数値を表 15 に，特徴選択を行った場合の各数値を表 16 に示す．

表 15: 廉価なデバイスを想定した場合に全特徴量を使用して推定した際の適合率, 再現性, F 値

設問	ドメイン	適合率 [%]	再現性 [%]	F 値 [%]
1	-	52.7	56.7	54.0
2	-	44.7	46.0	45.2
3	PHY	38.5	42.0	38.8
4	PHY	44.7	52.0	44.9
10	PHY	48.6	50.7	49.3
15	PHY	39.8	42.7	40.6
16	PHY	41.7	44.0	40.6
17	PHY	51.1	58.0	53.5
18	PHY	45.9	44.7	36.9
5	PSY	45.7	48.0	46.5
6	PSY	43.1	42.7	42.4
7	PSY	39.6	48.0	40.5
11	PSY	57.8	67.3	58.8
19	PSY	51.0	53.3	51.5
26	PSY	39.3	50.7	44.1
20	SOC	48.3	52.0	47.7
21	SOC	89.6	94.7	92.1
22	SOC	64.1	72.7	64.8
8	ENV	48.4	58.7	51.0
9	ENV	43.6	48.7	44.3
12	ENV	85.9	92.7	89.1
13	ENV	82.2	90.7	86.2
14	ENV	46.2	46.7	45.2
23	ENV	82.2	90.7	86.2
24	ENV	87.1	93.3	90.1
25	ENV	82.2	90.7	86.2

表 16: 廉価なデバイスを想定した場合に選定された特徴量を使用して推定した際の適合率, 再現性, F 値

設問	ドメイン	適合率 [%]	再現性 [%]	F 値 [%]
1	-	58.1	61.3	59.4
2	-	50.8	52.7	51.7
3	PHY	42.0	45.3	42.8
4	PHY	58.2	62.0	57.9
10	PHY	54.5	57.3	55.8
15	PHY	46.7	52.0	49.2
16	PHY	51.0	53.3	51.2
17	PHY	57.7	60.7	59.0
18	PHY	44.6	47.3	44.2
5	PSY	49.0	51.3	49.6
6	PSY	54.2	53.3	52.9
7	PSY	47.9	52.7	47.8
11	PSY	62.0	70.0	63.2
19	PSY	55.4	57.3	56.1
26	PSY	46.6	52.7	47.5
20	SOC	54.1	56.7	53.1
21	SOC	89.6	94.7	92.1
22	SOC	69.4	74.7	71.0
8	ENV	59.9	63.3	58.6
9	ENV	47.2	50.0	48.3
12	ENV	93.5	94.7	93.6
13	ENV	82.8	90.7	86.5
14	ENV	48.1	49.3	48.2
23	ENV	82.2	90.7	86.2
24	ENV	95.0	94.7	93.0
25	ENV	82.2	90.7	86.2

研究業績

国際会議

1. Chishu Amenomori, Teruhiro Mizumoto, Hirohiko Suwa, Yutaka Arakawa, Keiichi Yasumoto: "A Method for Simplified HRQOL measurement by Smart Devices", 7th EAI International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare (MobiHealth 2017), Nov. 2017.

国内研究会

1. 雨森千周, 水本旭洋, 荒川豊, 安本慶一: "健康寿命予測システムの実現に向けた HRQOL 簡易計測手法に関する一検討", 2016 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, Vol.2016.
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", マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2017) シンポジウム, 2017.