

スマートフォンによる 短時間睡眠支援に向けた入眠時刻の推定

永田 大地¹ 荒川 豊¹ 安本 慶一¹

概要: 生活の中で人は、睡眠不足などから発生する眠気によって作業への集中力を損なう。作業効率の低下を防ぐ方法として短時間睡眠が注目を浴び、推奨されている。短時間睡眠の効果を高くするには適切な睡眠時間で起床する必要があるが、経験的に長く寝過ぎる可能性が高い。目覚ましを利用した場合、起床は固定の時刻となることから寝付きが悪いと、予定より短い睡眠時間となり、効果的な睡眠とはならない。そこで、入眠時刻を推定し、その時刻を基準にアラームを鳴らし起床を促すことで適切な睡眠時間を確保できると考えた。我々は、使用環境を考慮した簡易的なシステム導入を目指し、外部デバイスなどを用いずにスマートフォンのみで計測可能な心拍数を用いて入眠時刻の推定を行った。また、覚醒か睡眠の睡眠状態の判定は機械学習によって実現する。本研究では、短時間睡眠における睡眠状態の判定に関する実験結果および入眠時刻推定に関する実験結果を報告する。4人の被験者で6回の睡眠のデータを用いて睡眠状態の判定を行った結果、提案手法は適合率が約0.84、再現率が約0.67で睡眠状態を分類可能であった。

1. はじめに

近年、不眠症などの睡眠に関する病気の患者発生数、睡眠に悩みを抱える人々が多く見られ、多くの人が睡眠不足に悩まされている。このような背景から、人々は眠気による睡眠効率の向上を望んでいる。より良い睡眠をとるためには自身の睡眠状態を理解することが、一つの改善策であり、睡眠のモニタリングを行っている研究も見られる [1]。しかしながら、生活の中で人は睡眠時間の不足や食事後などの特定の時間帯的な理由から著しく眠気を催し、作業への集中力を損なう。場合によっては、寝不足が居眠り運転などの事故の発生までも引き起こす恐れがある。上記課題の一つの解決策として、短時間の睡眠を取り入れることが一部の国や地域で推奨されている。短時間睡眠を積極的に取ることで作業効率の低下を防ぐ効果がある。短時間睡眠の効果についての研究や調査も進められ、短時間睡眠を推奨する内容の研究報告が相次いで発表されている [2]。昼間と夜間の睡眠の効果、視覚学習効果などの比較を行った調査では、1時間半の昼寝は1晩分の睡眠に等しい効果を持つことが示された [3]。ここで、作業効率の低下を防ぐための効果的な短時間睡眠を行うためには適した時間帯、長さの睡眠を取る必要がある。特に留意しなければならないのが睡眠時間の超過である。睡眠の取得し過ぎにより深

い眠りにしてしまうと、起床後の作業効率が優れないばかりか、夜の睡眠習慣に影響してしまう可能性がある。一般的に起床には目覚ましなどを利用するが、アラームは睡眠前に設定した固定の時刻となり、実際の睡眠経過時間とは無関係である。このような睡眠の取り方では不満足な睡眠を生む。

我々は、理想睡眠時間の取得による効果的な短時間睡眠支援を目的とする。支援方法としては入眠時刻の推定を行い、推奨される時間経過後にアラームを発生させ、理想的な睡眠及び快適な目覚めを支援する。今回、入眠時刻推定を行うために睡眠と関連性のある生理指標のなかで心拍数(脈拍数)に着目した。システム導入の負担を最小限にするために、本システムにおける心拍数計測は生活に身近なスマートフォンのみを用いて行う。最近では、スマートフォンと連動したウェアラブルデバイスが開発され、高精度ながらより簡易的で継続可能な睡眠状態センシングが可能となっている。システムでは取得された心拍数を用いて、睡眠状態の推定を行う。しかしながら、終夜睡眠ポリグラフと同程度の精密さで睡眠状態の推定を行うことは困難である。今回、短時間睡眠における入眠検出を行うことに関しては、取得可能な情報が少なくとも、データ分析方法や検出アルゴリズムの検討次第で検出精度を必要十分な精度まで高めることが可能と思われる。本研究では、短時間睡眠における適切な時刻での起床支援を目的とし、人体に低負担で測定可能なスマートフォンベースの入眠時刻推定シス

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

テムを提案する。本研究では、短時間睡眠時における心拍数のデータを測定・解析し、入眠時刻の推定手法の検討を行った。

2. 関連研究

睡眠の標準的検査手法および可視化に関する既存研究やサービスについて以下で述べる。

2.1 医学分野における睡眠検査

睡眠検査においては脳波と体動、その他の生理指標を組み合わせた終夜睡眠ポリグラフ検査（以下 PSG）が標準的検査手法であり、医療施設などでも睡眠障害の診断目的などで実施されている。PSG では、専門の医師が脳波やその他のデータを時系列的に評価して睡眠時の身体の様子を観測する。これによって睡眠段階を高精度で推定可能であり、結果的に入眠時刻も把握可能である。PSG はセンサや電極を全身に取り付けたまま 8 時間ほどの睡眠を行うもので被験者にかかる負担も大きい。さらに、高価な専門の機器や詳細な環境設定などが必須である上に、睡眠環境の変化が検査結果に及ぼす影響が大きい [4]。この PSG の代替手法としてアクティグラフと呼ばれる体動による検査方法も高精度な検査方法として用いられている [5]。アクティグラフは、寝返りなどの睡眠中の体動に基づいて行うアプローチであり、PSG と同様に臨床現場でも採用されている。小さな腕時計型の機器で、被験者の活動性を診断を行い、睡眠時間を測定可能である。

以上 2 つの検査方法では、高精度で睡眠段階の変化が測定可能であり、不眠症患者などの不眠原因の追求などに役立てられる。しかし、専用機器や専門の技師が必要となるため、一般人が家庭や仕事場などで日常的に計測することは困難である場合が多い。

2.2 睡眠状態可視化支援サービス

睡眠の状態や習慣の可視化を行うサービスがスマートフォンアプリケーションや睡眠計、ワイヤレス活動量計により提供されている。質の高い睡眠を得るためには、睡眠状態について知ることが不眠の原因などを明確化させ、睡眠の改善すべき点をユーザが意識することが推奨されている。

2.2.1 睡眠センシングアプリケーション

睡眠状態をセンシングし、ユーザにその結果をフィードバックするアプリケーションが数多く開発されている。体動をスマートフォンの加速度センサで検出を行い、睡眠の深さを推定するアプリケーションもその一つである。測定方法はアラーム時刻を設定後、スマートフォンをベッドの枕元に置いて睡眠を行う。Sleep Cycle[6] はスマートフォンに搭載された高感度加速度センサで睡眠中の体の動きを測定し、眠りが最も浅い時にユーザの起床を促す。一

般的に人は約 90 分のサイクルで浅い眠りと深い眠りを繰り返しており、眠りが浅いときには音などの外部的刺激によって比較的目覚めやすいという原理を利用している。日常的に継続してこのアプリケーションを使用することでユーザ自分の睡眠の傾向がわかるようになり、簡易的に睡眠の深さ度や眠りのサイクルなどを把握することができる。しかし、このアプリケーションでは寝返りなどの振動検出を行うために寝具が振動を伝えやすいベット型と限定されてしまう。また、夜間に継続的に加速度センサを起動させ続ける必要があるため、充電を行いながらの測定を行う必要がある。

アクティグラフの精密性と汎用性の高さから Ground truth として利用された研究実験も行われている。Hao ら [7] は、スマートフォンで睡眠中の音のセンシングにより、睡眠の深さや質を推定するシステムを提案している。著者はスマートフォンアプリ iSleep を開発しており、アプリケーションを起動した状態で寝具の近くに設置するだけでセンシングを行う。取得された音から環境ノイズをフィルタリングで取り除き、睡眠の深さなどと関連の高いとされている体動や咳などを検出する。これより、追加装置を用いることなく睡眠状態の推定をユーザへの負担を最小限にすることができる。しかし、マイクの音のみで推定を行うため、センシングを行う部屋に対象者以外の他者の存在の有無が結果に大きく影響することから、推定を正常に行うためには睡眠環境を大きく変更しなくてはならない可能性もある。これまでに、スマートフォンのアプリケーション単体で可能な簡易的な睡眠推定法が提案されているが多くが夜間の一般的な睡眠を扱うものであり、短時間の睡眠に着目した例は少ない。我々の知る限り、入眠推定を行い具体的に入眠時刻をユーザが知ることができるアプリケーションは提供されていない。

2.2.2 睡眠計測器

眠りの深さを測定する睡眠計が健康機器メーカーなどにより家庭用に開発、発売されている。TANITA 社製 [9] のセンサーマット型睡眠計（以下スリープスキャン）は呼吸と脈拍、体動の検出により睡眠と覚醒の判定と睡眠の深さを導出することが可能である。スリープスキャンはマット型であり、普段の寝具の下に設置するだけで体に触接されることなく通常の睡眠を行うことが可能でありユーザへの負担が少ない。仕組みとしては、取得された振動を独自技術により呼吸・脈拍・体動の各振動に分類を行い、各指標を取得可能である。各指標の組み合わせから、睡眠の深さを段階的に推定する。このマット型睡眠計で解析した結果は、覚醒と睡眠の判別において終夜睡眠ポリグラフ検査との一致率は 83 %、アクティグラフとは 90%以上であり、一般的な睡眠状態推定において有用性は明らかである [10]。しかし、追加外部装置とベットなどの寝具環境を設定する必要がある。

ユーザが身につけて生活を行うことにより消費カロリーを測定可能な活動量計が販売されている。活動量計は小型軽量化が進んでおり、継続的な計測がより簡易的なものになっている。商業用デバイスでは、Fitbit[11]やJawbone[12]などの活動計で睡眠を含めた身体活動のモニタリングを行うことができ、睡眠状態のセンシングが身近なものになっている。それらの活動量計はスマートフォン用アプリとワイヤレスに連動し、データ管理や活動量の可視化効果を飛躍的に向上させる。今日までに開発された多くの睡眠評価機器において、医学的根拠に基づいたものは限られたものだが、簡易的に睡眠状態を把握することが可能となっている。しかしながら、入眠時刻推定を高精度で行っているものは少ない。

3. 短時間睡眠支援システム

短時間睡眠の取得が睡眠不足による集中力の低下などを防ぐ有効な方法であると理解していても、実際に日常生活の中に積極的に取り入れるのは一般的には困難な場合が多い。睡眠を職場などで行う場合、一度寝付くとなかなか起きることができなくなる心配や、職場の制度などにより限られた時間帯の中で寝付く必要がある状況などにより、理想の睡眠を取れないこともある。このような心理的なストレスが、普段とは違う環境や制限における短時間睡眠では増加する傾向にある。我々はストレス無く、安心して短時間睡眠の取得支援を目的とする。提案システムは、理想の長さの短時間睡眠を支援する。具体的には、ユーザから取得した生理指標を入力とし、覚醒状態から睡眠状態に切り替わったタイミングである入眠時刻の推定を行い、その時刻から理想睡眠時間経過後に起床を促す。本研究では、短時間睡眠支援に向けた、生理指標を用いた入眠時刻推定手法を提案する。提案システムは、生理指標データのリアルタイムな分析を行い入眠の時刻を検出し、最適な時間経過後に起床を促す。これにより、短時間睡眠を行う際に起きる睡眠時間の超過を防ぎ、適切な睡眠時間の確保が可能となる。入眠の検出には、睡眠の深さと自律神経の活性状況との間に相関があるという知見を用いて、生理指標を用いる。生理指標とは、脈拍や心拍、呼吸、発汗などを指す。これらの指標はそれぞれ、スマートフォン単体、小型センサで計測可能である。システムは、生理指標の測定、睡眠段階判定と入眠時刻推定という機能で構成されている。また、本システムは、以下の要件を満たす必要がある。

- (1) 入眠時刻を高精度に推定可能である。
- (2) 環境に依存しないシステム構成である。
- (3) ユーザ負担、システム導入コストを最小限に抑える。

以下では、上記(1)–(3)の要件に対する基本方針を述べる。(1)、(2)の要件については、生理指標として睡眠との関連性が高いとされている心拍数を用いて睡眠状態の推定を行う。(3)の要件については、心拍数測定をスマートフォ

ンのみで行い、ユーザへの制限を極力減少させたシステムを目指す。以下に、心拍数を用いた理由とスマートフォンによる心拍数測定について述べる。

3.1 睡眠と関連性の高い生理指標の利用

睡眠状態推定に用いた心拍数について述べる。近年の睡眠状態解析に用いられる生理指標は脳波である。2章で示したようにPSGにおいても睡眠の深さを観測する上で重要なデータであるが、その計測に関しては測定環境の限定や被験者に対する身体的負担が高い。日常的な計測を想定する上で、センサや電極の装着がユーザの睡眠自体の妨げになってはいけない。脳波を用いずに、睡眠との関連性の高い呼吸や心拍を用いて睡眠状態を推定する方法も先行研究で行われている[13]。我々は、比較的簡易に計測可能な心拍数を用いて睡眠状態の推定を行う。心拍数を用いた理由としては、睡眠の深さ及び自律神経の活性状態との間に相関があることが挙げられる。一般的に心拍数は覚醒状態では高く、睡眠状態では低い値になる[1]。本システムでは、この知見を利用し入眠時刻推定を行う。また、睡眠環境における音や振動が計測に対して大きな影響がないことも選定理由である。

心拍数は小型装置やスマートフォンアプリケーションで測定可能である。またその計測箇所は身体において多数存在しており、ユーザが睡眠の取り方に合わせて変動できることから計測に掛かるストレスを最小限にできると考えられる。iPhoneアプリケーションCardiograph[14]では、カメラに指先を押し付けることにより、脈拍を計測することができる。指先では、心臓によって血液を送り出した瞬間は酸素の量が多く、次回の鼓動までに酸素濃度が落ち、また次の鼓動で多くなるという現象が起きている。カメラで取得される指先の画像において、その酸素濃度の強弱は画像の明るさの変化として現れる。この明るさの変動を画像解析により取得し、脈拍数の算出を行っている。ここで、脈拍と心拍は厳密には定義は異なるが、原則として脈拍数と心拍数は同数値になるので、本論文中でも同義であるとする。

本システムでは、普及率の高いスマートフォンで取得した心拍数のみを用いて入眠時刻推定を目指す。この手法で推定した睡眠状態は、前述のPSGで求めた結果と完全に一致することは不可能だと思われるが、PSGと比較して用いる生体情報が極端に少ないことが理由として挙げられる。しかし、今回のように昼寝のような短時間睡眠における入眠時刻推定に限れば、推定アルゴリズムなどを工夫することにより推定結果をPSGの結果に近づけることができる。以降では、心拍数算出のための画像解析手法と入眠時刻推定手法について4章で説明を行い、5章で入眠時刻推定に関する評価実験について述べる。



図 1 アプリケーションによる心拍数測定

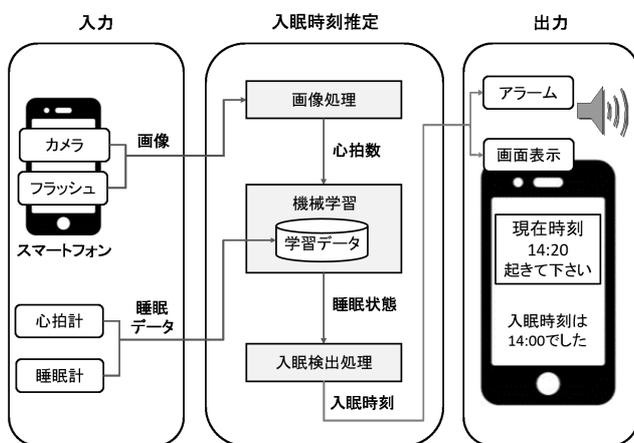


図 2 システム構成

3.2 システム構成

提案システムでは、スマートフォンのみで心拍数を測定し、端末上で入眠時刻の推定を行う。また、入眠時刻から任意の時刻経過後にアラーム発生させ、ユーザに起床を促す。スマートフォンアプリケーションを用いた心拍数測定イメージを図 1 に示し、提案システムの構成を図 2 に示す。スマートフォン上で全ての機能は実装される。提案システムでは、スマートフォン搭載のカメラからの指先画像を入力とする。指先画像を取得する際、酸素濃度変動による明るさの差異が含まれた画像を正常に撮影するために搭載のフラッシュの光を当てる。また、その他の入力として過去の睡眠データが存在する。睡眠データとは、機械学習を行うにあたり必要なデータであり、睡眠時における心拍数とその睡眠状態が対になったものである。心拍数と睡眠状態のデータは、それぞれ心拍計とスリープスキャンから得る。得られた睡眠データは、機械学習に用いる学習データとして必要なフォーマットに成形して用いる。入眠時刻推定システムでは、画像処理、機械学習、入眠検出処理を順次行う。画像処理フェーズでは、取得された指先画像を入力とし、その明るさの変異から心拍数を算出する。心拍数測

定の精度に関しては、4 章で述べる。次に機械学習フェーズでは、算出された心拍数を入力とし、学習データを用いて睡眠状態に関する分類を行う。出力として、一定期間毎の睡眠状態が得られる。最後に、入眠検出処理フェーズでは、期間毎の睡眠状態を入力とし、入眠を行った時刻の推定を行う。入眠とは、起床した状態である覚醒状態から睡眠状態に移った時点と定義している。もし睡眠状態の分類が正常に行われずに、入眠時刻の候補が複数個得られても、最も適当な時刻の選択を行う機構である。上記の 3 つのフェーズより、最終的には入眠時刻が得られる。その入眠時刻に基づいて、ユーザの設定した任意の時間経過後にアラームを鳴らし目覚めさせる。ユーザは、起床後に表示されるアプリケーション画面において、自身の入眠した時間を確認することが可能である。

4. 心拍数測定と入眠時刻推定

入眠時刻推定手法について述べる。本システムでは、スマートフォン単体で取得した心拍数に対して、機械学習を用いた睡眠状態判定を行う。その判定結果を利用し入眠時刻推定を行う。以下では、(1) スマートフォンでの心拍数測定、(2) 機械学習を用いた睡眠状態判定、(3) 睡眠状態変動による入眠時刻の決定、の 3 つのフェーズに分けて説明を行う。

4.1 心拍計アプリケーション

本節では、心拍数算出のための、画像処理に基づく拍動検出について述べる。以下にアプリケーションの実装詳細と心拍数計測における精度評価の結果を示す。

4.1.1 携帯端末に付属のカメラによる心拍数推定

ここでは、スマートフォンに付属のカメラにユーザが指を押し当てることにより、心拍数の測定を行う手法に関して説明する。心臓が鼓動するたびに血中の酸素濃度は高くなったり低くなったりする。その結果、皮膚の色が定期的に変化するが、その色の変化をカメラによって読み取るこ

とで、心拍数を読み取ることが可能となる。まず、本アプリケーションはカメラから得た画像の赤色要素のみを取り出し、すべてのピクセルにおいて合計する。ユーザの心拍の動きにより、この赤色ピクセル値は上昇・下降を繰り返す。ここで、上昇と下降を一回の心拍運動として捉えることが可能である。このようにして、カメラから得た心拍運動を一定時間ごとに平均することで、心拍数の推定値とすることができる。

4.1.2 精度評価

カメラ画像からの心拍数測定が、入眠時刻推定に用いることができる精度に達しているかを実験にて評価する。評価方法は既存の心拍計と同時測定を行い、心拍数の比較を行う。既存の心拍計として、SUUNTO 社製 [15] の心拍計 t6d(以下 t6d) を用いる。t6d は付属のベルト型計測器を胸周りに装着し、取得した心拍情報を時計型受信機で心拍数データの保存を行う。評価には t6d の測定頻度に合わせ、2 秒毎に算出した結果を比較した。アプリケーションは、心拍計と比較して平均誤差 2.8 bpm で測定可能であった。システム構築において、十分な精度を確認した。

4.2 入眠状態推定

機械学習により、心拍数の変動からユーザが覚醒状態、睡眠状態であるかを推定を行う。機械学習における、識別モデル構築のための各工程を以下に示す。

4.2.1 データの取得

機械学習を行うにあたり、睡眠時における心拍データとそのデータがどの睡眠状態に関連しているかの情報を含む学習データがあらかじめ必要である。心拍データは、心拍計アプリケーション評価にも用いた t6d を用いる。ここで、作成した心拍をアプリケーションを用いない理由として、ここでは心拍数のみで睡眠状態推定が可能かどうかにか主眼をおいており、最大限信頼性の高い心拍数の値を用いるべきである。また、睡眠状態の Ground truth として、スリープスキャンを用いた。スリープスキャンの有用性に関しては既に示した通りであり、正解ラベルを作成するためには十分な精度である。これら 2 つの計測器を用いて、心拍数と睡眠状態からなるデータセットを今回のシステムで利用する。

4.2.2 特徴量抽出

特徴量とは、心拍データから推定に必要なデータ特徴のことである。前提知識として、睡眠状態では心拍数の値とその変動幅は小さくなる。よって、我々は特徴量として平均値と分散値を利用する。平均値は細かな変化の影響を含めることなく数値の増減自体を示し、分散値は変動の大きさを反映する。この 2 つの特徴量は、一定のデータ区間(以下エポック)に区切り、抽出を行う。本研究では、睡眠に関する医療分野で通例的に用いられるエポック幅である 30 秒間隔で特徴量抽出を行った。

表 1 計測された睡眠一覧

睡眠 ID	ユーザ ID	睡眠時間 (分)
S ₁	1	56
S ₂	1	84
S ₃	1	135
S ₄	2	84
S ₅	3	195
S ₆	4	116

予測結果

	睡眠(sleep)	覚醒(awake)	
睡眠状態	睡眠(sleep)	173	86
覚醒(awake)	33	228	

適合率(%)	再現率(%)	F値(%)
83.98	66.80	74.41

図 3 分類結果の混同行列と評価結果

4.2.3 識別モデルの構築

睡眠状態の推定を行う識別モデルを構築する上で、本研究では学習モデルの中でもパターン認識性能が最も優れている手法の一つである SVM(Support vector machine) を用いた。本システムでは、この SVM により心拍数データの特徴量から識別モデルを構築し、睡眠状態推定を行う。

5. 有効性評価のための予備実験

5.1 睡眠状態推定の精度評価

心拍数データによる睡眠段階推定の精度を検証するため、複数のユーザの短時間睡眠についてスリープスキャンによる睡眠状態の解析結果を正解データとし、機械学習による睡眠状態推定結果と比較することでその分類精度を求めた。

実験に使用した、データは成人の男女 4 名の計 6 回の睡眠データを用いた。睡眠 6 回分からデータセットを作成し、交差検証にて評価を行った。図 3 に心拍数に基づく分類結果の混同行列を示す。表の数字は、スリープスキャンでの分類結果に対し、心拍数に基づく分類により睡眠・覚醒に分類されたかについて、各状態の個数を表す。覚醒状態の分類に関しては比較的良い精度が出ているが、睡眠状態の分類に関しては覚醒状態へ誤分類の個数が多くなっている。このことから、睡眠中にも関わらず心拍数の特徴的には覚醒状態を示すデータが含まれていることが分かった。

6. おわりに

本稿では、スマートフォンを用いた短時間睡眠支援システムを提案した。オフィスなどの眠気が発生するような日常的な中で簡易的に使用できるシステムである。評価実験として、心拍数のみを用いて、覚醒状態と睡眠状態の 2 値分類を行った 4 人の被験者で 6 回の睡眠のデータを用

いて判定を行った結果、提案手法は適合率が約 0.84、再現率が約 0.67 で睡眠状態を分類できることが分かった。今後の課題として、睡眠状態分類に基づいた入眠時刻推定とその精度評価、また計測に関する消費電力を節約を考慮したアプリケーションの改良と、アプリケーションを実際に使用した場合のユーザ評価などが挙げられる。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金 (25540031) の支援を受けて実施している。

参考文献

- [1] 亀山研一, 鈴木琢治, 行谷まち子: “快眠のための睡眠判定と睡眠モニタシステム,” 東芝レビュー, Vol. 61, No. 10, pp. 41-44, 2006.
- [2] Hayashi. Mitsuo, Watanabe. Makiko and Hori. Tadao: “Participatory Sensing,” *Clinical Neurophysiology*, Vol. 110, No. 2, pp. 272-279, 1999.
- [3] Mednick. Sara. C: “Take a Nap!: Change Your Life,” *Workman Publishing*, 2006.
- [4] 野田明子, 古池保雄: “終夜睡眠ポリグラフィ (解説特集 睡眠の生体計測技術),” 日本エム・イー学会誌, Vol. 46, No. 2, pp. 134-143, 2008.
- [5] 中山栄純, 小林宏光, 山本昇: “アクチグラフによる睡眠・覚醒判定の基礎的検討” 石川看護雑誌, Vol. 3, No. 2, pp. 31-37, 2006.
- [6] Sleep Cycle alarm clock: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.northcube.sleepcycle>
- [7] Hao. Tian, Xing. Guoliang and Zhou. Gang: “iSleep: unobtrusive sleep quality monitoring using smartphones,” In *Proc. the 11th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 4, 2006.
- [8] Min. Jun-Ki, Doryab. Afsaneh, Wiese. Jason, Amini. Shahriyar, Zimmerman. John, Hong. Jason. I: “iSleep: unobtrusive sleep quality monitoring using smartphones,” In *Proc. the 11th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 4, 2006.
- [9] 株式会社タニタ: <http://www.tanita.co.jp>
- [10] 小西円, 中西純子, 西田佳世: “高齢者の睡眠/覚醒判定におけるセンサーマット型睡眠計の有用性: アクティグラフとの比較から,” 愛媛県立医療技術大学紀要, Vol. 9, No. 1, pp. 5-9, 2012.
- [11] Fitbit: <http://www.fitbit.com>
- [12] Jawbone: <https://jawbone.com>
- [13] 坪井宏祐, 出口明広, 萩原啓: “ローレンツプロットの定量評価による睡眠推移の推定,” ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 13, No. 2, pp. 127-134, 2011.
- [14] Cardiograph: <http://macropinch.com/cardiograph>
- [15] SUUNTO: <http://www.suunto.com>