

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01509

研究課題名（和文）日中活動および居室環境とミリ波睡眠計測による睡眠の質向上

研究課題名（英文）Improving sleep quality by measuring sleep by using millimeter wave radar, daytime activity and room environment

研究代表者

松下 大輔（Matsushita, Daisuke）

大阪公立大学・大学院生活科学研究科・教授

研究者番号：90372565

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,500,000円

研究成果の概要（和文）：マイクロ波レーダーを用いた非接触睡眠計測手法を開発し寝室での日常的な睡眠計測を検証した。体動をニューラルネットワークで学習し睡眠覚醒状態判定予測モデルを得た。脳波計のEEG-EOGに基づく教師値に対して本手法は睡眠パラメータSOL、TST、SEにおいて統計的に同等の精度を示した。また、郊外住宅団地の住人を対象に、地域住民主導による持続可能な健康増進活動を目指して、日中活動の歩行習慣の定着と移動機能の向上を検証した。前期高齢者の68.4%、後期高齢者の54.5%が健康な高齢者の推奨基準を達成した。GLFS-25と2-step試験の結果より歩行期間後は歩行期間前より移動機能の有意な向上が見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生活様式や心身の特性などで個人差の大きい睡眠状況を改善するためには日中の活動と睡眠の質との相関をとらえる必要がある。ポリグラフ検査のような被験者にとって負荷の大きい実験室での計測手法でなく、居住環境に溶け込み心々に負担を与えない形で長期間にわたる継続的なデータの取得が可能な本手法は住宅における日常的な睡眠計測に資する点で有意義である。また、歩行は手軽で有効な日中活動として知られる。持続可能な歩行活動が歩行習慣の定着と移動機能の向上をもたらしたことは健康寿命延伸や医療介護費の削減に資する点で有意義である。

研究成果の概要（英文）：A non-contact sleep measurement method using microwave radar was developed and verified for routine sleep measurement in the bedroom. Body movement data were learned by neural networks to obtain a prediction model for the sleep-wake state. The method showed statistically equivalent accuracy in the sleep parameters SOL, TST, and SE compared to supervised values based on EEG-EOG. We also tested establishing daytime walking habits and improving mobility among residents of a suburban residential complex, aiming for sustainable health promotion activities led by local residents. 68.4% of the early- and 54.5% of the late-elderly residents achieved the recommended criteria for healthy elderly; results from the GLFS-25 and 2-step tests showed significant improvements in mobility function after the walking period compared to before the walking period.

研究分野：建築計画学

キーワード：睡眠計測 生活行動 マイクロ波レーダー 脳波（EEG） 眼電位（EOG） 睡眠の質

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

睡眠は心身の健康に重大な影響を及ぼし、日中の活動と夜間の睡眠は密接な関係がある。しかしながら住宅や介護施設等においても、日中の様々な活動やそれらが生じる空間ほど夜間の睡眠に対する関心は大きくない。睡眠の質は個人差が大きく生活様式や居住空間の影響が大きい。睡眠の課題の解決には睡眠時だけでなく日中の行動や居住環境との関係を継続的に捉え、より良い睡眠と日中の活動や居住環境との関係を解明することが有効である。睡眠研究は医学分野が中心であるが本研究は居住環境や人間行動分野から貢献しようとするものである。いかに被験者の心身の負担なく建物側から睡眠状態を継続的に計測して見守り居住者の QOL を向上させ介護負担を抑制できるか、またこれにより日中の活動や居住空間の環境と睡眠の質の関連を見出すことができるかが本研究の核心となる問いである。

2. 研究の目的

- 1) 寝室や寝具の仕様によらず継続的に被験者に負担を与えない睡眠計測を実現するため、高精度な計測手法をミリ波レーダー基盤を用いて開発する。
- 2) 特別養護老人ホームにおいて入居者の睡眠、覚醒状態を常時把握することにより介護者による適時訪室と入居者の睡眠の質や QOL 向上を図る。
- 3) 日中の活動量と睡眠の質との相関を数週間から数ヶ月の規模のデータから抽出する。
- 4) 住宅においても同様の手法で睡眠の質の継続的な計測および改善を図る。

3. 研究の方法

3.1 非接触睡眠計測手法の開発

1) 睡眠データの計測

1-1) 簡易脳波計を用いた EEG および EOG の計測

終夜睡眠ポリグラフ検査 (PSG) のような実験室での負担の大きい計測手法の代わりに簡易脳波計測計により脳波 (EEG) および眼電位 (EOG) を計測した

1-2) マイクロ波レーダーによる体動・呼吸・心拍の計測

天井および寝台側方の二方向からマイクロ波レーダーにより非接触で体動、呼吸、心拍を計測した。

1-3) アクチグラフによる手首の加速度測定

本手法の対照手法として従来の三軸加速度計により体動を計測した。

2) 被験者の選定

睡眠障害のない 20 ~ 30 歳の健康な若年成人 19 名 (男性 11 名、女性 8 名) を対象とした。ピッツバーグ睡眠質問票 (PSQI) の平均値は 4.05 (SD=0.94) で睡眠の正常性を確認した。大阪公立大学大学院生活科学研究科研究倫理委員会の承認を得た (番号 21-18)。

3) 睡眠計測実験

図 1(左)のように賃貸住宅に 2 つの実験室を設置し日常的な居住環境を模擬した。各実験室では寝台上方の天井と寝台側方のスタンドにレーダーセンサーを設置した。参加者は 2021 年 11 月 24 日から 2022 年 3 月 18 日までの実験期間中のできるだけ連続した日に睡眠計測実験に参加した。参加者に実験手順と注意事項を説明しインフォームド・コンセントを得た。図 1(右)に示す簡易脳波計を被験者に装着し睡眠計測を行った。被験者は 22:30-00:00 に就寝し 6:30-8:00 に起床した。就寝時には消灯し臥床して入眠を試みる。就寝から起床までの間、脳波計により脳波と EOG を、マイクロ波レーダーにより体動、心拍、呼吸を、アクチグラフにより非利き手首の加速度を計測した。就寝時刻と起床時刻は参加者自身が記録した。

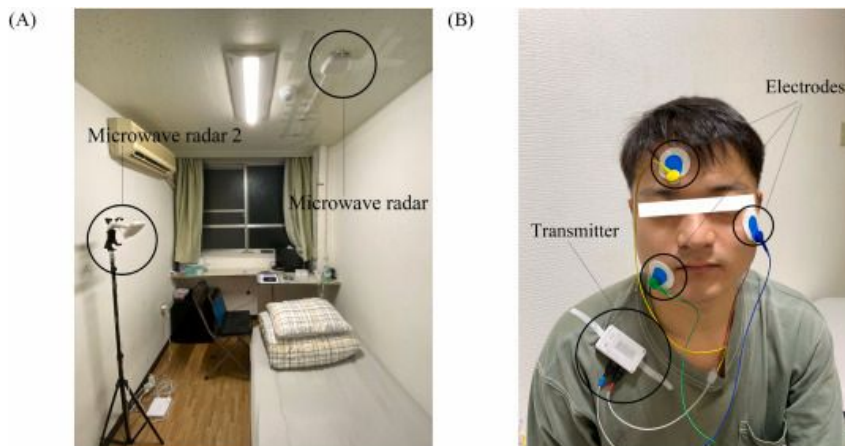


図 1 賃貸住宅に設けられた実験室 (左) と脳波計装着の様子 (右)

4) データ処理

図2の～はデータ処理の手順である。睡眠計測の標準手法であるPSGではAASM(米国睡眠医学会)のマニュアルに従って専門家が睡眠記録を採点する。本研究では睡眠/覚醒状態の判定に機械学習を用いた睡眠判定手法プログラムのU-Sleepを用いた。U-SleepはEEGとEOGチャンネルの任意の組み合わせから睡眠段階を決定する。畳み込みニューラルネットワークを用いた19,924夜のPSGデータの学習により専門医と同等の精度を示した。レム睡眠とノンレム睡眠(N1, N2, N3)は「SLEEP」、覚醒状態は「WAKE」に変換し睡眠覚醒状態のみを識別した。アクチグラフを用いた睡眠覚醒状態の1(分/エポック)判定に合わせるため、ポータブルEEG-EOG記録システムの睡眠覚醒状態データも1(秒/エポック)から1(分/エポック)に変換した。各1分間で最も頻度の高い状態をもってこの1分間の睡眠覚醒状態とした。マイクロ波レーダーの測定データ(「PULSE LEVEL」, 「BREATH LEVEL」, 「MOTION LEVEL」の各チャンネル)も同様に、各チャンネルの平均値を用いて1(s/epoch)から1(min/epoch)に変換した。

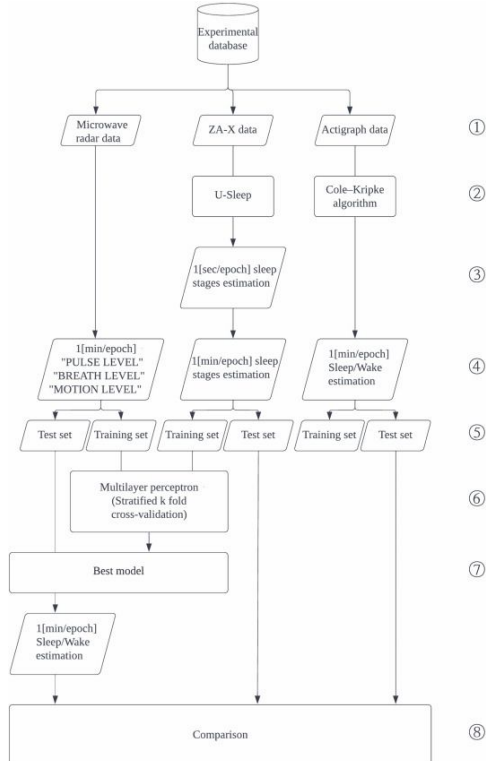


図2 分析手順

5) 機械学習

ニューラルネットワークは4層の多層パーセプトロン(MLP)を用いた。図4のようにMLPはサイズ42の入力層、サイズ100、40、10の3つの隠れ層、サイズ1の出力層から構成される。過学習を避けるためにL2正則化を用いた。

$$Loss = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \cdot \log(p(y_i)) + (1 - y_i) \cdot \log(1 - p(y_i))$$

ここで、yは0または1のラベルであり、p(y)はラベルyの確率である。ラベルyが1のとき、予測値p(y)は漸近的に1に近づくので、損失関数の値は0に収束する。逆に、予測値p(y)が漸近的に0に近づくとき、損失関数の値は発散する。MLPはKeras(バージョン2.9.0)で実装した。

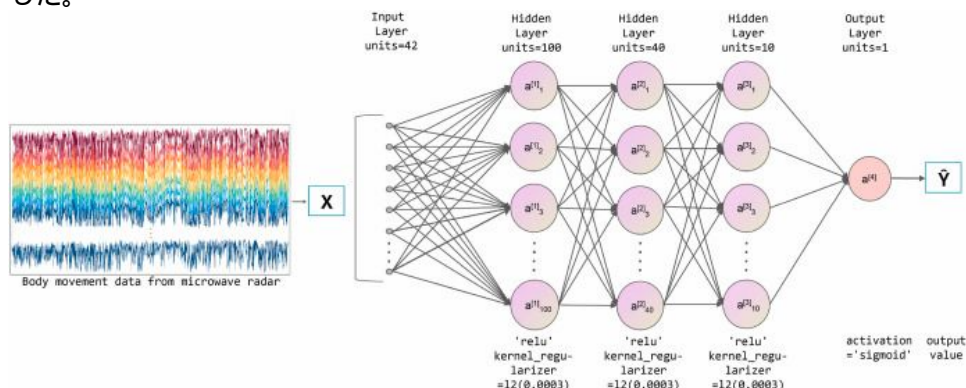


図3 MLPモデル

3.2 日中活動の歩行習慣定着活動による移動機能向上

1) 歩行の計測

30名の被験者の日中の歩行活動を9月5日～11月5日の2カ月間計測した、その前後に健康計測を行った。

1-1) GLFS-25

ロコモ25は過去1カ月間の身体の痛みや生活に関する25問の自記式質問票である。各質問は5段階のリッカート尺度で0点～4点、合計点数は0点～100点の範囲の値をとる。点数が高いほど移動機能が低下していることを表し、7点未満はロコモ非該当、7点以上16点未満はロコモ度1、16点以上24点未満はロコモ度2、24点以上はロコモ度3と判定される。

1-2) 2-step 試験

2-step 試験は、できるだけ大股の2歩分の歩幅を2回計測し大きい方の2歩幅を身長で除した値「2ステップ値(Max 2歩幅/身長)」に基づきロコモ度を判定する手法である。図3のように平らな床と巻き尺のみでどこでも安全、簡易に移動機能を代表する指標を計測することができる。性別年代別2ステップ値との比較により自分の性別年齢における相対的な移動機能の水準(M, 1SD, 2SD)が分かる。2ステップ値が1.3以上はロコモ非該当、1.1以上1.3未満はロコモ度1、0.9以上1.1未満はロコモ度2、0.9未満はロコモ度3と判定される。

1-3) GPSによる歩行経路計測

歩行による介入を行う保健医療分野の先行研究では身体活動量を計測する手段として自己申告や歩数計が用いられる場合が多い。しかし高齢者の場合、身体活動の強度が小さく持続時間が大きく変化する傾向があるため、自己申告による身体活動量の信頼性が問題となることが知られている。本研究では移動経路と時刻を記録できるGPSを用いた。歩行経路が分かれば歩行距離や歩数、活動量の推計が可能となる。また図5 GPSによる歩行経路の記録を地図上で重ね合わせるにより、好んで歩かれている経路や領域が明らかになれば、歩行空間整備やまちづくりに役立つ資料となる。

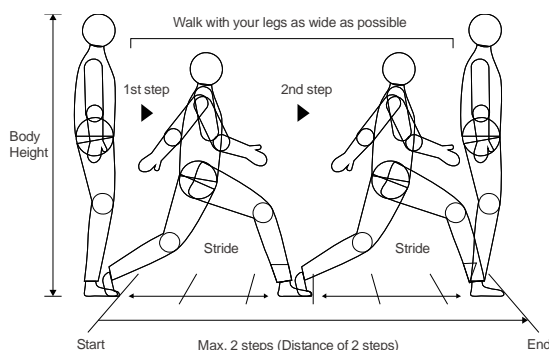


図4 2-step 試験

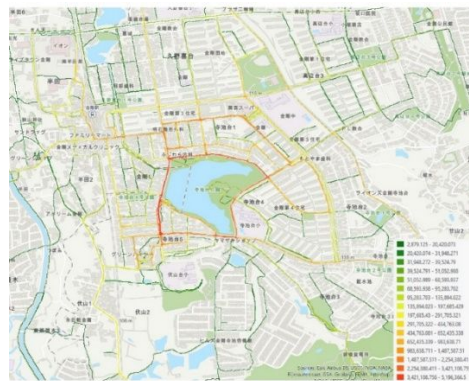


図5 GPSによる歩行経路の重ね合せ

4. 研究成果

マイクロ波レーダーを用いた非接触睡眠計測手法を開発し寝室での日常的な睡眠計測を検証した。体動をニューラルネットワークで学習し睡眠覚醒状態判定予測モデルを得た。脳波計のEEG、EOGに基づく教師値に対して本手法は睡眠パラメータ SOL、TST、SE において統計的に同等の精度を示した。本研究の非接触睡眠計測手法は従来の接触型の三軸加速度計によるアクチグラフの睡眠計測手法を上回る精度を示した。コロナ禍により当初予定していた介護施設での実験は研究への協力が得られず中止した。代わりに日中の歩行活動による移動機能向上の研究を行った。郊外住宅団地の住人を対象に、地域住民主導による持続可能な健康増進活動を目指して、日中活動の歩行習慣の定着と移動機能の向上を検証した。前期高齢者の68.4%、後期高齢者の54.5%が健康な高齢者の推奨基準を達成した。GLFS-25と2-step試験の結果より歩行期間後は歩行期間前より移動機能の有意な向上が見られた。上記の研究成果は査読付き国際論文誌 Building and Environment (Scopus CiteScore 11.3, Top 3%, 21/779) および Japan Architectural Review に掲載された。本研究課題で開発された手法は今後の睡眠計測や健康計測データに基づく住宅計画や都市計測に貢献する。2024年度以降の科研費による継続研究に技術的基盤を与えた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Wang Xiaorui、Matsushita Daisuke	4. 巻 233
2. 論文標題 Non-contact determination of sleep/wake state in residential environments by neural network learning of microwave radar and electroencephalogram/electrooculogram measurements	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Building and Environment	6. 最初と最後の頁 110095 ~ 110095
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.buildenv.2023.110095	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Matsushita Daisuke	4. 巻 7
2. 論文標題 Workspace for female telecommuters living in an urban apartment house with children	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 JAPAN ARCHITECTURAL REVIEW	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/2475-8876.12442	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Matsushita Daisuke、Gu Yangcheng	4. 巻 7
2. 論文標題 Improving locomotive syndrome risk level through community led activities to establish walking habits	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 JAPAN ARCHITECTURAL REVIEW	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/2475-8876.12433	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Gu Yangcheng、Kato Haruka、Matsushita Daisuke	4. 巻 20
2. 論文標題 Relationship between Health Status and Daily Activities Based on Housing Type among Suburban Residents during COVID-19 Self-Isolation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 2639 ~ 2639
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ijerph20032639	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 王晓銳、松下大輔
2. 発表標題 マイクロ波レーダーと脳波眼電位計測による睡眠覚醒の非接触判定手法
3. 学会等名 日本建築学会学術講演会研究発表梗概
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 王 曉銳，松下 大輔
2. 発表標題 寝室の自然光制御により目覚めの質は向上するか？
3. 学会等名 日本建築学会第46回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 顧洋成，松下大輔
2. 発表標題 郊外住宅団地における住民主導の歩行習慣による移動機能向上
3. 学会等名 日本建築学会学術講演会研究発表梗概集
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	上田 哲也 (Tesuya Ueda) (00844242)	大阪公立大学・大学院リハビリテーション学研究科 ・助教 (24405)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	瀧澤 重志 (Takizawa Atsushi) (40304133)	大阪公立大学・大学院生活科学研究科・教授 (24405)	
研究 分 担 者	加登 遼 (Kato Haruka) (50849396)	大阪公立大学・大学院生活科学研究科・助教 (24405)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関