

# 床振動センサを用いた住環境における 身体活動量推定システムの開発

安部 瞳 八束 佳那映 中島 柚季 元岡 展久 太田 裕治 トリペッテ ジュリアン†

お茶の水女子大学‡

## 1. はじめに

健康維持のために日常の活動量把握が重要視されているが、住居内の評価は十分でない。在宅時間や座位行動が増える一方、ウェアラブル端末は装着の煩わしさや精度の低さから活用に限界がある。これに対し、床振動が居住者の活動強度を反映する点に着目し、床振動センサを用いた身体活動量推定システムの開発を進めている。先行研究[1]では定常的な活動の推定に成功したが、長方形合板による振動伝搬の異方性や、部屋全体を使う動的活動が含まれていない点が課題であった。そこで本研究では、振動伝達の等方性を考慮して環境を標準化し、片付けや歩行を追加した実験により実生活環境への適用可能性を検証した。

## 2. 方法

### 2.1 実験環境と計測システム

実験では、8畳の寝室を模した木造床の実験環境 (3640×3640mm) を構築した。床下地材には正方形の構造用合板 (910×910mm) を採用し、振動伝達の均一化を図った。床振動の計測のため、床下には8台の高感度圧電式加速度ピックアップ (Rion Co., Ltd., Japan) を、家具直下を避けて部屋全体に等間隔に設置した (図1)。データ収集には、チャンネルチャージアンプ (Rion Co., Ltd., Japan) とデータ取得装置 (National Instrument Corp., Texas) を使用し、サンプリングレート 100Hz、分解能 12bit にてデジタル化した。

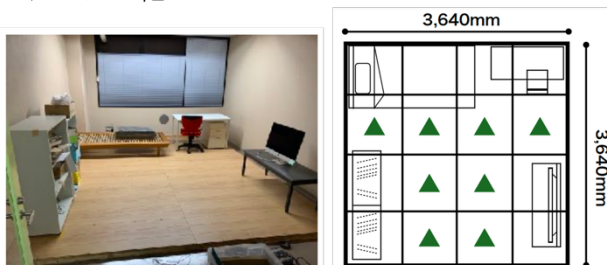


図1 実験環境と加速度センサ配置図

### 2.2 実験計画

被験者は、若年成人 10 名 (男性 1 名, 女性 9 名, 年齢  $21.8 \pm 0.8$  歳, BMI  $20.6 \pm 1.1$  kg/m<sup>2</sup>) である。活動項目は、先行研究で用いられた 9 項目 (読書, スマホ操作, 座位ゲーム, LEGO, けん玉, 歌唱, TikTok ダンス, ダンスゲーム, アクティブゲーム) に加え、生活空間全体を不規則に移動する片付けおよび定常的な移動動作である歩行の計 11 種類を設定した。各活動は 7 分間実施し、呼吸代謝が定常状態に達したと考えられる後半 4 分間のデータを解析対象とした。正解値として、間接熱量測定計 K5 (COSMED inc., Rome) を用いてゴールドスタンダード法である間接熱量測定を行い、身体活動強度を測定した。また、既存のウェアラブル端末との比較のため、研究用活動量計 ActiGraph wGT3X-BT (ActiGraph LLC., Florida) を腰と手首に装着し、同時に計測を行った。

### 2.3 特徴抽出と分析

取得した床振動データから Butterworth filter を用いてノイズを除去し、0.25Hz から 8Hz の信号に平滑化した。特徴量については、先行研究で用いられた 7 つのパラメータに加え、新たに 5 つのパラメータを追加し、計 12 種類の特徴量を算出した。具体的には、時間領域特徴量として Floor Count (合成加速度の総和), Peak Count (ピーク数), Max Peak (最大振幅) など、周波数領域特徴量として Main Frequency (主周波数), Spectral Centroid (周波数スペクトルの重心) 等である。特に、移動に伴う非定常な振動を捉えるため、波形の振幅特性やエネルギー分布に着目した特徴量を追加している。統計分析では、これら 12 個の特徴量を説明変数、K5 による実活動強度を目的変数とし、ステップワイズ法を用いた重回帰分析により推定モデルを構築した。また、本モデルと研究用活動量計 ActiGraph の精度比較を行うため、測定手法と活動種類を要因とする二元配置分散分析および Tukey の HSD 法による多重比較検定を行った。

Development of a System for Estimating Energy Expenditure in a Living Environment Using Floor Vibration Sensors

†Hitomi Ambe, Kanae Yatsuzuka, Yuki Nakajima, Nobuhisa Motooka, Yuji Ohta, Julien Triplette

‡Ochanomizu University

### 3. 結果

#### 3.1 床振動による活動強度推定モデル

11 種類の全活動を対象とした重回帰分析の結果、モデルの決定係数は  $r^2 = 0.49$  ( $P < .001$ ) となり、選択された説明変数は、Peak Count (係数 : 0.012), Max Peak (係数 : 0.15), Floor Count (係数 : -0.0002) の 3 つであった (図 2)。

比較として、移動を含まない従来の 9 活動のみで重回帰分析を行った場合、決定係数は  $r^2 = 0.57$  ( $P < .001$ ) となり、選択された説明変数は Peak Count (係数 : 0.015) と Spectral Centroid (係数 : 0.29) であった。このことから、移動を伴う活動の有無によって、活動強度推定に寄与する振動の特徴が異なることが示された。

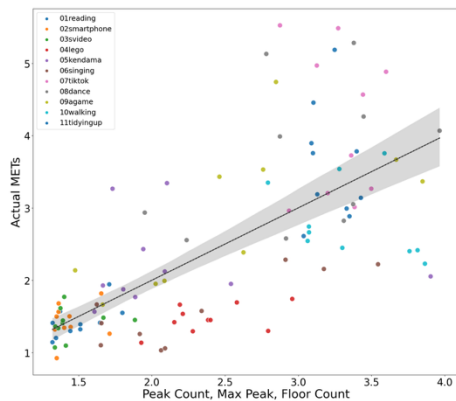


図 2 床振動モデルと実活動強度の関係

#### 3.2 ActiGraph との精度比較

各活動における実活動強度の平均の比較を図 3 に示す。ANOVA の結果、測定手法の主効果に有意な差が認められた ( $F = 63.2$ ,  $P < .001$ )。Tukey の HSD 検定による多重比較の結果、実活動強度に対し、腰の ActiGraph は有意な過小評価、手首の ActiGraph は有意な過大評価が確認された。具体的には、手首の ActiGraph は TikTok ダンス等の上肢動作で過大値を示し、腰の ActiGraph は LEGO や片付け等で過小値を示した。それに対し、本提案の床振動モデルと実活動強度の間には統計的な有意差が認められなかった。

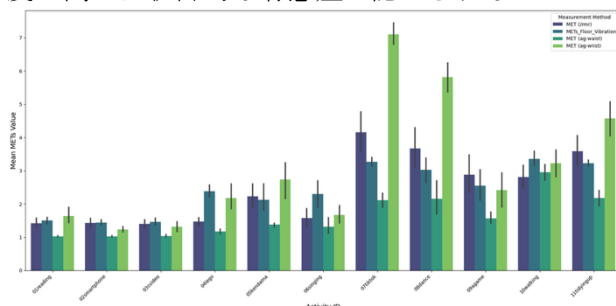


図 3 各活動の測定手法別平均活動強度の比較

### 4. 考察

#### 4.1 移動動作の追加による特徴量の変化

移動を含まない 9 活動の分析では、振動の発生頻度を示す Peak Count に加え、振動の質や周波数分布の重心を表す Spectral Centroid がモデルに組み込まれた。対して、移動を含む 11 活動の分析では、振動の大きさを示す Max Peak や Floor Count が重要な因子として選択された。歩行や片付けといった移動を伴う活動では、床に加わる衝撃強度が活動強度と強く相関するため、周波数特性よりも振幅情報が優先的に選択されたと推察される。決定係数が 0.57 (9 活動) から 0.49 (11 活動) へ変化したことは、非定常な生体動作を含めたことによる自然なばらつきへの反映であり、実環境適用時の現実的な精度を表しているといえる。

#### 4.2 推定精度の優位性

ウェアラブル活動量計 ActiGraph は装着部位の動きに依存するため、ダンスや片付けといった複合的な動作において誤差が大きくなる傾向が見られた。一方、床振動システムは、身体全体の質量移動を床面全体で捉えるため、移動の有無や手足の局所的な動きに関わらず、平均的に実測値に近い値を算出できたと考えられる。特に、ActiGraph が苦手とした不規則な移動を含む片付けにおいても、床振動モデルは実測値との誤差が小さく、日常生活動作の評価における有用性が確認された。

### 5. 結論

本研究では、一般住宅への適用を見据え、床構造の標準化と対象活動の拡張を行った。その結果、部屋全体を使用する移動動作を含めた環境下においても、床振動情報はウェアラブル端末よりも正確に、被験者の身体活動強度を推定できることが示された。今後は、被験者の年齢や体格等の属性を多様化させ、モデルの一般化を進める必要がある。あわせて、今回明らかになった移動動作を含む条件下での推定精度の低下に対し、新たな特徴量の探索や学習データの拡充を行うことで、実環境における推定精度のさらなる向上を目指したい。

#### 【参考文献】

[1] 中島柚季 (2024) 床振動を利用した身体活動量の推定 : 寝室への導入に向けた標準的な材料と方法の開発, 令和 5 年度お茶の水女子大学修士論文