

# インソール型足圧計測デバイスを用いた身体活動量推定に関する基礎的研究

林 美香子 (指導教員：太田 裕治, Tripette Julien)

## 1 研究背景・目的

身体活動の客観的かつ定量的な把握は、健康状態の正確な理解および改善のために必要である。身体活動量の測定手段として現在主に用いられる活動量計やスマートフォンのアプリケーションには加速度計が用いられ、その値から推定を行っている。しかしこれらのデバイスには、携帯時以外の測定ができないなど、日常生活における測定に制限がある。

本研究の目的は、インソールを用いて足底圧力を計測する靴デバイスから収集したデータを用い、身体活動量を推定することである。近年開発が進むウェアラブルデバイスの中でも、インソールを用いた測定を行うことで、携帯忘れ等のリスクが少ない、定量的かつ継続的な測定を行えると考えた。

## 2 データ収集に用いた装置

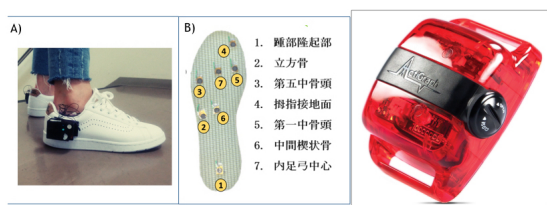


図 1: (左) 靴デバイスの概要 (右) Actigraph BT3X-GT

データ収集には、2つの装置を用いた。概要を図1に示す。

日常生活中での足圧計測を目的とした靴型デバイス [1] は、靴のインソールに圧力センサを埋め込んだ足圧計測デバイスである。本デバイスは、7箇所センサを持つインソールおよび無線通信機器からなり、両者を利用することで無拘束かつ連続的な測定が可能である。現在までに、高齢者の歩行機能評価 [2] などに活用されている。

Actigraph BT3X-GT (以下 BT3X) は、3軸加速度計を用いた活動量計である。笹井ら [3] によれば、Actigraph 社製品は加速度計を用いた研究において国際的基準である。実際に文献データベースで主な活動量計の論文件数を比較した結果、Actigraph 社製品が身体活動量に関わる研究で広く利用されていることを確認できた。

## 3 実装

### 3.1 実験・使用データの概要

本研究は、足圧データおよび活動量データの2種類を用いて行われた。各データは、17人の被験者から収集したものである。

被験者は、上記靴型デバイス (サンプリングレート: 100Hz) および BT3X (サンプリングレート: 1Hz) を装着した状態で6種類の活動を行った。なお BT3X は腰に装着した。

6種類の活動は、次の3強度に分類される。

- 低強度の活動：立位, 掃除
- 中強度の活動：歩行 (通常速度, 高速)
- 高強度の活動：走行 (通常速度, 高速)



図 2: 実験の流れ (一例)

実験の流れの一例を図2に示す。

足圧データは、それぞれの活動の際に得られた、靴型デバイス内の圧力センサの時系列データを指す。活動量データは、上記 BT3X の時系列データから計算された定量的パラメータを指す。解析を行うためのプログラムは、Python3 を用いて実装した。

### 3.2 データの前処理

すべてのデータを一括で処理するため、足圧データおよび活動量データに対して前処理を行った。

#### 3.2.1 足圧データの前処理

足圧データに行った処理は、変換・フィルタリング・正規化の3つである。以下にその概要を示す。

変換：専用の関数を用いて圧力センサの出力値を実際の圧力値に変換した。

フィルタリング：処理を簡略化するため、信号の波形にフィルタをかけて整形した。フィルタにはバターワースフィルタを用い、10Hz以上の周波数成分をノイズとしてカットした。これは人間の動作の周波数成分が10Hzを超えないためである [4]。実装には、Pythonの Signal processing ライブラリ (scipy.signal) を用いた。

正規化：被験者の使用したデバイスによってセンサ特性が異なるため、データの正規化を行った。具体的には、7箇所のセンサそれぞれについて最大値と最小値を求めた後、その値をもとに同位置のセンサ値を全て正規化した。

#### 3.2.2 活動量データの前処理

活動量データ (AccMag) に行った前処理は、身体活動量 (Mets) の算出である。以下の計算式を用いて、活動量データから身体活動量を計算した。なお、計算式は Freedson ら [5] の式を参考にした。

$$Mets = 0.0477 * AccMag + 1.439008$$

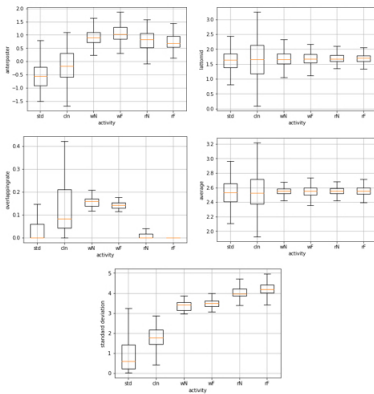


図 3: 各活動における特徴量

### 3.3 特徴量抽出

前章の処理を行った足圧データから、いくつかの特徴量を抽出した。これらの特徴量は、4種に分類される。すなわち、統計値・歩容分析(センサ間)・歩容分析(デバイス間)・歩容分析(被験者間)である。

その中から、以下5つの特徴量を選定した。選定理由は、必要性および可視化結果、そして他特徴量との重複がないことである。

- 前後差：前方センサ値と踵骨隆起部のセンサ値の差
- 左右差：第5中足骨頂と第1中足骨頂のセンサ値の差
- 非接地率：全実験時間のうち、両足とも接地していない時間の割合
- 平均：全センサ値の平均
- 標準偏差：全センサ値について求めた標準偏差の平均

それぞれの特徴量について活動ごとに図に表し、身体活動量の推定に使用できるかについて検討した。図示結果は、図3である。

### 3.4 分析

特徴量と身体活動量との関係を散布図に表し、いくつかの回帰モデルを用いて両者の関係について検討した。最終的には、多項式フィッティングを用いて線形モデルの適合を行った。実装には、Pythonのscikit-learnライブラリを用いた。結果については次章で述べる。

## 4 結果および考察

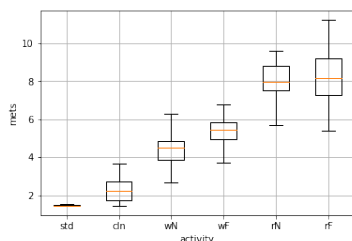


図 4: 活動ごとの身体活動量

活動ごとに身体活動量を図示したものが図4である。図3および図4より、身体活動量推定には標準偏差の特徴量を用いることが最も有効であると判断した。そのため、分析では標準偏差を用いた。

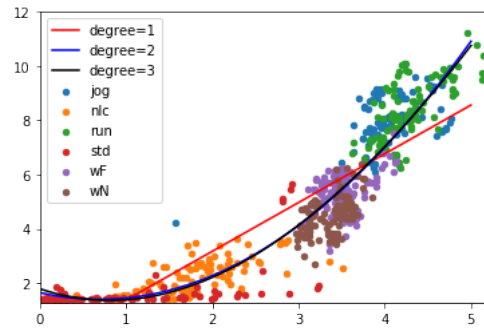


図 5: 解析結果

特徴量(標準偏差)と身体活動量との関係、および線形モデルを同時に表示したものが図5である。図から、低強度の活動・中強度の活動・高強度の活動が概ね分類できることが確認できた。フィッティング結果は1次から3次まで図示したが、その中で2次のフィッティングが最も有効な推定を行っていることが確認できた。2次フィッティングの相関係数は0.7(小数第2位四捨五入)であった。

以上の結果から、足圧データを用いた身体活動量推定は、従来の腰に装着する活動量計を用いた推定と同様に有効であることが示唆された。

## 5 まとめと今後の展望

インソールを用いた靴型デバイスおよび3軸加速度計のデータを用いて、身体活動量の推定可能性について検証を試みた。得られた結果から、足圧データによる身体活動量の推定は加速度計を用いた推定と同様に可能であることが示された。一方で本研究では、対象となる活動の種類にも限りがある。加えて、今回推定に使用した特徴量量は1つのみである。今後は、他の活動についての活動量推定可能性の検証と同時に、他の特徴量量を使用することで推定精度の向上が可能であるかの検証が求められると考える。

また、今回はすべての活動を一括で処理したが、靴型デバイスのデータから活動を識別することができればより正確な身体活動量を推定できると予想している。活動識別と身体活動量推定を組み合わせることで、将来的に利用価値の高いウェアラブルデバイスを開発することができるだろう。

### 参考文献

- [1] 齋藤倫子. 日常生活中での足圧計測を目的とした靴型デバイス. PhD thesis, お茶の水女子大学, 2013.
- [2] 中嶋香奈子. 足圧計測デバイスを用いた高齢者の歩行機能評価. PhD thesis, お茶の水女子大学, 2015.
- [3] 笹井浩行, 引原有輝, 岡崎勘造. 加速度計による活動量評価と身体活動増進介入への活用. *Research in exercise epidemiology = 運動疫学研究*, Vol. 17, No. 1, pp. 6–18, mar 2015.
- [4] F.H Dujardin, J.Y Ertaud, T Aucouturier, J Nguen, and J.M Thomine. Smoothing technique using fourier transforms applied to stereometric data obtained from optoelectronic recordings of human gait. *Human Movement Science*, Vol. 16, No. 2, pp. 275 – 282, 1997. 3-D Analysis of Human Movement - II.
- [5] P. S. Freedson, Edward Melanson, and John Sirard. Calibration of the computer science and applications, inc. accelerometer. *Med Sci Sports Exerc.*, Vol. 30, No. 5, pp. 777–781, 1998.