

# フォースプレートデータを基準とした歩行動作における Heel Strike 検出アルゴリズムの基礎的検討

## A Basic Study on Heel Strike Detection Algorithm in Walking Motion Based on Force Plate Data

立花 柁樹<sup>\*1</sup>, 香山 瑞恵<sup>\*1</sup>, 館 伸幸<sup>\*1</sup>

Masaki TACHIBANA<sup>\*1</sup>, Mizue KAYAMA<sup>\*1</sup>, Nobuyuki TACHI<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 信州大学

<sup>\*1</sup> Shinshu University

Email: 19t2094d@shinshu-u.ac.jp

**あらまし**：本研究では歩行解析からフレイル現象(加齢とともに環境因子に対する脆弱性が高まった状態)を推定する可能性を検討している。ここでは、歩行周期に着目する。その準備段階として、歩行周期解析に必要な Heel Strike 検出アルゴリズムの開発を行った。結果として提案アルゴリズムは関連論文アルゴリズムに比べて有意に精度が高かった。今後は新たなデータ、特に高齢者のデータに対して検証を行う。  
**キーワード**：フレイル, Heel Strike, アルゴリズム, Force Plate

### 1. はじめに

高齢化社会である日本において、健康寿命の延伸が課題として挙げられる。本研究では歩行解析からフレイル現象を推定する可能性を検討している。ここでは、歩行周期に着目する。歩行周期の解析を行うには、その始まりである踵接地(以下 HS: Heel Strike)を検出する必要がある。これまでに加速度センサのみを用いた HS の検出に関する 15 のアルゴリズムを比較した関連論文によると、現在利用可能なアルゴリズムが歩行の遅い人、特に神経疾患の患者には適用できない可能性がある<sup>(1)</sup>と述べられている。

### 2. 本研究の目的

本研究の目的は、歩行速度の遅い高齢者にも適用可能な加速度センサを用いた HS 検出アルゴリズムの開発である。以下に示す RQ に答えることで本研究の目的を達成する。

- RQ1. モーションキャプチャ(以下 MC)データにおいて HS 検出精度の高いアルゴリズムは何か
- RQ1.1. FP から検出した HS を正解とした場合、提案アルゴリズム(以下 提案 Algo)と関連論文アルゴリズム(以下 関連 Algo)の HS 検出精度はどちらが高いか
- RQ1.2. 提案 Algo と関連 Algo の HS 検出精度に有意差はあるか
- RQ2. 高時間分解能慣性センサ計測データの HS 検出に、RQ1 で得たアルゴリズムを適用するにはどのような改良が必要か

### 3. 解析アルゴリズム

歩行速度の変化に堅牢であると述べられている W.Zijlstra ら<sup>(2)</sup>のアルゴリズムを関連 Algo として引用した。このアルゴリズムは「2 Hz でローパスフィルタ処理された進行方向加速度のゼロクロッシング

に先行する 20 Hz でローパスフィルタ処理された進行方向加速度のピーク」とされている。「最大値ピーク」を検出する場合(以下 関連 Algo\_M)と「最大値と同等のピーク」を検出する場合(以下 関連 Algo\_P)の 2 パターンの関連 Algo を検証する。

提案 Algo は「4Hz でローパスフィルタ処理された進行方向加速度のゼロクロッシングに先行する 47 Hz でローパスフィルタ処理された進行方向加速度 1.4 m/s<sup>2</sup>以上の極大値」とした。

### 4. RQ1

#### 4.1 解析対象データ

被験者は歩行に介助を必要としない 20 代健常者男性 2 名とした。モーションキャプチャ(以下, MC. Vicon)を用いて、背面腰部の両側上前腸骨棘に配置した 2 つのマーカー(LPSI, RPSI)から歩行時の位置データ(x, y, z 座標)を 100 Hz で取得した。体幹中心位置を算出するために LPSI, RPSI の平均値を利用した。加速度データによる比較を行うために、これらのデータを 2 回微分した。

4 枚のフォースプレート(以下, FP. AMTI AccuGait)を用いて、HS のタイミングを 1000 Hz で取得した(図 1 参照)。今回は 1 人 10 歩行実施したため、2 人で計 80 データを収集した。そのうち、75 データを解析対象とした。

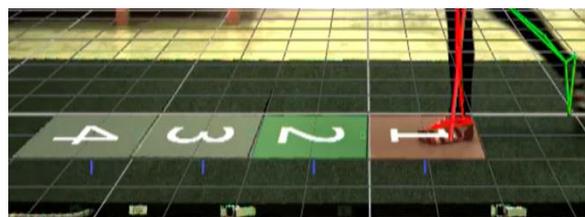


図 1 実際に使用した FP

## 4.2 データ解析と結果 (RQ1.1)

MC データから算出した加速度データに提案アルゴリズム(以下 提案 Algo)・関連論文アルゴリズム(以下 関連 Algo\_M, 関連 Algo\_P)をそれぞれ適用し, HS の予測フレームを取得した. 一方, FP データから取得した HS を正解フレームとした. それぞれのアルゴリズムでの予測フレームと正解フレームの誤差について二乗平均平方根誤差(以下 RMSE)を用いて精度を比較した.

各アルゴリズムの RMSE は関連 Algo\_M:30.2, 関連 Algo\_P:28.8, 提案 Algo:12.1 であった.これより, 関連 Algo よりも提案 Algo の精度が高いことが分かる. また関連論文 Algo\_M は 2 データでの HS を検出できなかった.

## 4.3 データ解析と結果(RQ1.2)

RQ1.1 で比較したアルゴリズムの HS 検出精度に有意差があるか予測フレームと正解フレームの絶対値誤差を用いて検証した. 今回の検定は多重比較であるのでボンフェローニ補正を行った. 有意水準 5%でマンホイットニーの U 検定を行った結果, 関連 Algo2 種と提案 Algo では代表値に統計的に有意な差があることが確認された.

## 4.4 考察

RQ1 の分析により, 図 2 のように HS は進行方向加速度が急激に低下する直前のピークから低下途中に存在すると考えられる.

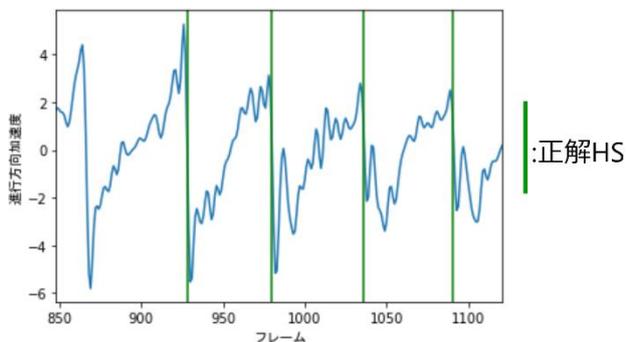


図 2 HS が存在する部分

## 5. RQ2

### 5.1 解析対象データ

被験者は歩行に介助を必要としない 20 代健康者男性 10 名, 要介護レベル 3 以上で特別養護老人施設に通所している高齢者 15 名とした. 高時間分解能慣性センサは背面の腰部に固定し, 歩行は 1 人 1 回実施した. この解析では, 10 m 歩行のうち歩行安定区間とされる中央 4 m<sup>(3)</sup>を使用した.

### 5.2 データ解析

高時間分解能慣性センサ計測データに提案 Algo を適用した. 検出すべき HS の合計数は若者が 38 個, 高齢者が 122 個である. 高時間分解能慣性センサ計測データには FP データが含まれていないので, 進

行方向加速度が急激に低下する直前のピークから低下途中を検出できていない場合にエラーとした.

## 5.3 結果

提案 Algo を適用した結果, エラー率は若者データで 0/38, 高齢者データで 27/122 であった. エラーは 2 種類に整理された. それらは, ゼロクロッシングのフレームが検出した極大値のフレームよりも小さいことと, 進行方向加速度が 1.4 m/s<sup>2</sup>未満である HS が存在することであった. これらのエラーを解消するために, 提案 Algo を「4 Hz でローパスフィルタ処理された進行方向加速度のゼロクロッシングフレーム + サンプリング周波数/100 フレームに先行する 47 Hz でローパスフィルタ処理された進行方向加速度 0.8 m/s<sup>2</sup>以上の極大値」と改良した. これにより高齢者の全てのエラーは解消された.

## 5.4 考察

改良前のアルゴリズムでは, 高齢者のみエラーが発生した. 高齢者は歩行速度の変化が小さいので加速度の閾値を下げる必要があると考えられる. 個人に適した閾値が設定可能になれば, アルゴリズムの汎用性が高まると考える.

## 6. おわりに

本稿では FP データと MC データを使用し HS の検出アルゴリズムの開発と FP データを有さない別のデータセット(高時間分解能慣性センサ計測データ)への適用を行った. RQ1 からは今回使用したデータセットにおいて, 関連 Algo と比較し提案 Algo の HS 検出精度が有意に高いことが分かった. RQ2 では, 提案 Algo を適用する際に, 被験者ごとに閾値を設定しなければならないことが分かった.

今後の方針としては, 個人に適した閾値の決定方法の検討と提案 Algo が未知のデータセットにおいても適用できるか, さらに適用できた場合には提案 Algo から作成した歩行周期の解析を行う.

## 参考文献

- (1) Hirota Iijima, Masaki Takahashi: “State of the Field of waist-mounted sensor algorithm for gait events detection: A scoping review”, *Gait & Posture*, Vol.79, pp152-161 (2020)
- (2) Wiebren Zijlstra, At L Hof: “Assessment of spatio-temporal gait parameters from trunk accelerations during human walking”, *Gait & Posture*, Vol.18, Issue2, pp1-10 (2003)
- (3) Sugalya Amatachaya: “Influence of timing protocols and distance covered on the outcomes of the 10 -meter walk”, *Physiotherapy Theory and Practice, An International Journal of Physical Therapy*, Vol.36, Issue12 (2020)