

進行方向加速度を用いたかかと接地検出アルゴリズムの 健康な成人男女のデータセットへの適用と精度検証

Application and Accuracy Validation of the Heel Strike Detection Algorithm using antero-posterior Acceleration to a Dataset of Healthy Adult Men and Women

立花 柊樹^{*1}, 香山 瑞恵^{*2}, 舘 伸幸^{*2}, 永井 孝^{*2,3}, 富田孝幸^{*2}, 脇谷 大志^{*1}
Masaki TACHIBANA^{*1}, Mizue KAYAMA^{*2}, Nobuyuki TACHI^{*2}, Takashi NAGAI^{*2,3},
Takayuki TOMIDA^{*2}, Taishi WAKITANI^{*1}

^{*1} 信州大学大学院総合理工学研究科

^{*1} Graduate School of Science & Technology, Shinshu University

^{*2} 信州大学工学部

^{*2} Department of Engineering, Shinshu University

^{*3} ものつくり大学技能工芸学部

^{*3} Faculty of Technologists, Institute of Technologists

Email: 23w2064e@shinshu-u.ac.jp, kayama@cs.shinshu-u.ac.jp

あらまし：本研究では，歩行動作解析からフレイル状態(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．これまでに歩行周期の始まりであるかかとが床に接地する瞬間を検出するアルゴリズムを開発した．本稿では，アルゴリズムの開発には利用していない，健康な成人男女の新たなデータセットに対する提案アルゴリズムの精度の検証を行った．結果，新たなデータセットに対しても高い精度を確認した．

キーワード：フレイル，かかと接地，検出アルゴリズム，フォースプレート

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．我々はこれまでに進行方向加速度を用いた HS 検出アルゴリズム(以下，提案 Algo)を開発しており，そのアルゴリズムが類似研究よりも有意に精度が高いことを示した⁽¹⁾．提案 Algo の開発では，精度検証に使用したデータセットにおいて HS の二乗平均平方根誤差(以下，RMSE)が可能な限り小さくなるようにパラメータの調整を行った．そのため，提案 Algo の開発には利用していない，新たなデータセットにおいても提案 Algo が高い精度を保つことが可能か検証する必要がある．

2. 提案 Algo と本研究の目的

本研究では，W. Zijlstra らのアルゴリズム⁽²⁾を改良し，提案 Algo を開発した．概要は「4 Hzでローパスフィルタ処理された進行方向加速度の負のピークに先行する，18.3 Hzでローパスフィルタ処理された進行方向加速度の正のピークの 65.3 %未満となった最初のフレーム¹」である．詳細を以下に示す．

まずは W. Zijlstra らのアルゴリズムと同様に進行方向加速度にカットオフ周波数 4 Hz，18.3 Hz (W.

Zijlstra らは 2 Hz，20 Hz)のローパスフィルタをかけ波形 1，波形 2 を作成する．次に波形 1 から負のピークを検出し，その負のピーク間ごとに存在する波形 2 の最大値を算出する．負のピーク間において，最大値の 65.3 %未満となった最初のフレームでかつ時間的に最も遅い点を HS として検出する．図 1 に提案 Algo の適用結果例を示す．

本研究の目的は，新たなデータセットに対する提案 Algo の汎化能力の評価とする．

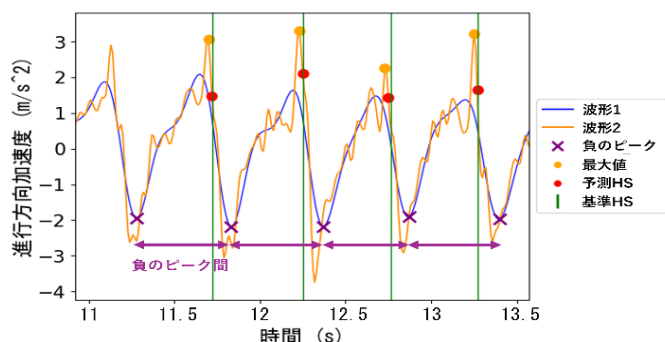


図 1：提案 Algo の適用結果例

3. 精度検証

提案 Algo の開発に利用したデータセットとは異なるデータセットに提案 Algo を適用し，提案 Algo 開発時の HS 検出精度と比較する．

3.1 解析対象データ

被験者は歩行に介助を必要としない健康な 20 代

(注 1) フレーム：MC，FP システムにおける時間単位．今回の MC の場合， $f_s = 100 \text{ Hz}$ であるため，1 秒間に 100 フレームのデータを取得する．

大学生の男性5名、女性2名の計7名である。アルゴリズム開発時のデータセットには女性データが含まれていない。そのため本稿では、骨格等が異なる男女両方に提案アルゴリズムが適用可能か検証した。

計測場所は長野県工業技術総合センター環境・情報技術部門である。1試行の条件は、以前の計測⁽¹⁾と同様に歩行距離5m弱、素足での自然な歩行とした。各人が複数回歩行を実施し、計67試行(内女性が17試行)の歩行を計測した。歩行データはモーションキャプチャ(以下、MC)とフォースプレート(以下、FP)の同期システムにより取得した。

3.1.1 MC データ

MCには光学式のVICON Vantage V5・V8(fs:100 Hz)を使用した。本稿では、人体背面腰部に位置する両側上後腸骨棘に配置した2つのマーカー(LPSI, RPSI)の位置データ(x, y, z 座標)を使用する。またLPSIとRPSIの平均値を計算し体幹中心位置を算出した。さらに平均位置データに対して2階微分(中心差分法)を行い、加速度データを算出した。

3.1.2 FP データ

FPにはAMTI AccuGait(fs:1000 Hz)を使用した。MCと同期したFPを使用することで、HSの基準が決まり、加速度を用いたHS検出アルゴリズムの精度を検証できる。FPは歩行路上に4枚設置されており、1歩行で最大4歩分のFPデータを取得できる。今回は被験者7名分の計268歩のFPデータを収集した。しかし、その内73歩のFPデータからはHSデータが取得できなかった。それは、FPにかかとが接地していない、あるいはある足のかかとが接地するよりも前に、逆足の荷重がかかっていたためである。それらを除く、195歩のFPデータを解析対象とした。

3.2 検証方法

MCデータから算出した加速度データに対して、提案Algoを適用し、取得したHSのフレームを予測HSフレームとした。一方、FPデータから取得したHSのフレームを基準HSフレームとした。195データを対象として、予測HSフレームと基準HSフレームの誤差について二乗平均平方根誤差(以下、RMSE)、標準偏差(以下、SD)を算出し、提案Algo開発時の精度と比較した。

3.2.1 基準 HS フレーム作成の詳細

FPデータはHS直前において、頻繁にノイズが含まれる。そのためカットオフ周波数75 Hzの4次バターワースフィルタ⁽³⁾を適用した。またHS検出の閾値を鉛直方向10 N⁽⁴⁾に設定することで基準HSフレームを作成した。((1) 4.2.2 参照)

3.3 結果・考察

提案Algo開発時に使用した旧データと新たに計測した新データにおける提案Algoの精度検証結果に加え、新データ内の女性2名のみに着目した際(48データが対象)の結果も併せて表1に示した。また提案Algoを新データに適用した際の予測HSフレームと基準HSフレームの誤差を図2にヒストグラムと

して示した。

表1の評価指標はどちらも値が小さいほど高精度である。そのため提案AlgoのHS検出精度は、新データにおいても同等以上の精度が得られることを示している。また女性データに対しても高い精度が確認され、提案Algoは健康な成人に対して性別を問わず、非常に高い精度を発揮することが示唆された。

表1：各データにおける提案AlgoのHS検出精度

対象データ	RMSE (ms)	SD (ms)
旧データ	9.05	5.85
新データ	8.32	5.35
女性データ	8.23	4.52

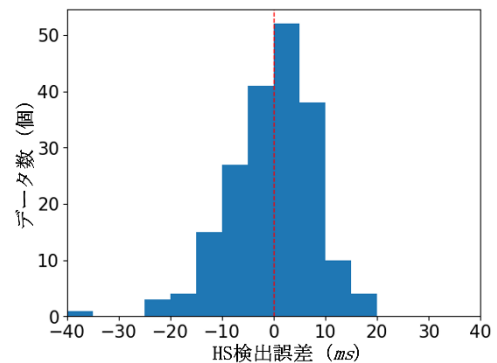


図2：新データにおける提案AlgoのHS検出誤差

4. おわりに

本稿では、提案Algo開発時とは別のデータセットを新たに計測し、提案Algoの精度検証を実施した。結果、性別を問わず開発時と同等以上の精度が確認され、高い汎化能力が示された。

本研究の最終目的は、歩行解析によるフレイル状態の推定である。今後は高齢者においても提案Algoが適用可能か検証する必要がある。また本稿では、MCから微分によって加速度を算出しており、加速度センサから得られる加速度も同様に処理可能か検証する必要がある。今後の方針としては、それらを検証し、提案Algoから作成した歩行周期の解析を行う。

参考文献

- (1) 立花 証樹, 香山 瑞恵, 舘 伸幸他. 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かかと接地検出アルゴリズムの改良と評価, 信学技報 MBE, (2024/6/28 発表予定)
- (2) W. Zijlstra, A.L. Hof, Assessment of spatio-temporal gait parameters from trunk accelerations during human walking, Gait & Posture, Vol.18, No.2, pp.1-10 (2003)
- (3) D.N. Pamukoff, R.I. Dudley, M.N. Vakula, et al. An evaluation of the heel strike transient in obese young adults during walking gait, Gait & Posture, Vol.49, pp.181-183 (2016)
- (4) A. Hreljac, R.N. Marshall, Algorithms to determine event timing during normal walking using kinematic data, Journal of Biomechanics, Vol.33, No.6, pp.783-786 (2000)