

手首の加速度を用いた歩行中の足の高さ推定 -高齢者の公開データセットによる基礎検討-

Foot-Ground Clearance Prediction using an Accelerometer on the Wrist: A Pilot Study using Public Gait Dataset in Elderly

○北川 広大*, 和田 親宗**, 戸谷 伸之***

○Kodai Kitagawa*, Chikamune Wada**, Nobuyuki Toya***

*八戸工業高等専門学校 産業システム工学科 機械・医工学コース

**九州工業大学 大学院生命体工学研究科

***北海道情報大学 医療情報学部

*National Institute of Technology, Hachinohe College

**Kyushu Institute of Technology

***Hokkaido Information University

キーワード: 歩行計測(gait measurement), スマートデバイス(smart device), 加速度(acceleration), 上肢(upper limb), 足の高さ(foot-ground clearance), 回帰(regression)

連絡先: 〒039-1192 青森県八戸市大字田面木字上野平 16-1

八戸工業高等専門学校 産業システム工学科 機械・医工学コース

北川 広大, Tel: 0178-27-7264, E-mail: kitagawakitagawa156@gmail.com

1. はじめに

1.1 研究背景

近年、高齢者の転倒事故が多発しており¹⁾, 転倒した高齢者は怪我や入院等によって生活を制限されている^{1,2)}. また、高齢者の転倒要因としてつまずきが最も多いことが知られている³⁾. 高齢者がつまずく原因として、高齢者が歩行中の足の高さを正確に知覚することが難しいことが挙げられる⁴⁾. これらの背景から、著者らは高齢者が知覚しにくい歩行中の足の高さを日常的にモニタリングし、

つまずきの危険性がある場合に歩行の改善や休憩を促す転倒防止システム(Fig. 1)が必要と考えた. 日常的な歩行を対象としたシステムでは、歩行者が日常的に使用するスマートフォンやスマートウォッチのセンサを用いることが実用的と考えられる. また、Zhong らの調査では、歩行計測におけるセンサの装着位置に手首が好まれやすいことが報告されている⁵⁾. この報告から、著者らはスマートウォッチなどの加速度センサを用いた転倒防止システムを提案し、上肢の加速度を用いて足の高さを推定する手法を検討してきた^{6,7,8)}.

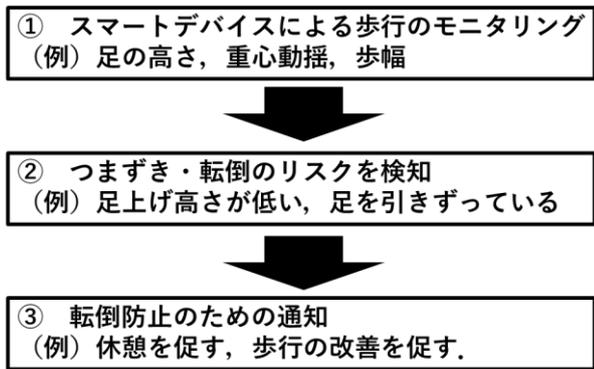


Fig. 1 Fall prevention system using smart device.

1.2 これまでの研究と本研究の目的

これまでの研究では、歩行中における上肢と下肢の関係を調査してきた⁶⁾。また、上肢の加速度を特徴量に用いた機械学習の識別モデルによって「足を高く上げる歩行」や「自然歩行」といった歩行状態を大まかに識別する手法を確立した^{7,8)}。しかし、これまでの研究では上肢の加速度から足の高さを定量的に推できていなかった。さらに、これまでの研究では、転倒防止の対象となり得る高齢者の歩行を考慮できていなかった。

そこで本研究では、上肢の加速度を用いて定量的な足の高さを推定する手法の提案と検証を目的とした。なお、本研究では高齢者の歩行データを含む公開データセット⁹⁾によって提案手法の検証を試みた。

2. 提案手法

Fig. 2 に提案手法の概略図を示す。これまでに述べた通り、提案手法では、スマートウォッチなどを身につけやすいと考えられる手首をデバイスの装着位置として考える。そのため、提案手法は手首のデバイスから計測される3軸加速度を特徴量とした機械学習の回帰モデルによって足の高さを推定する。また、先行研究において歩行状態の識別に歩行速度が有効であったことから⁸⁾、提案手

法においても機械学習の特徴量に歩行速度を加えた。本研究では、この提案手法が歩行中の足の高さを定量的に推定可能であるかを公開データセット⁹⁾（詳細は後述）を用いたシミュレーションによって検討した。

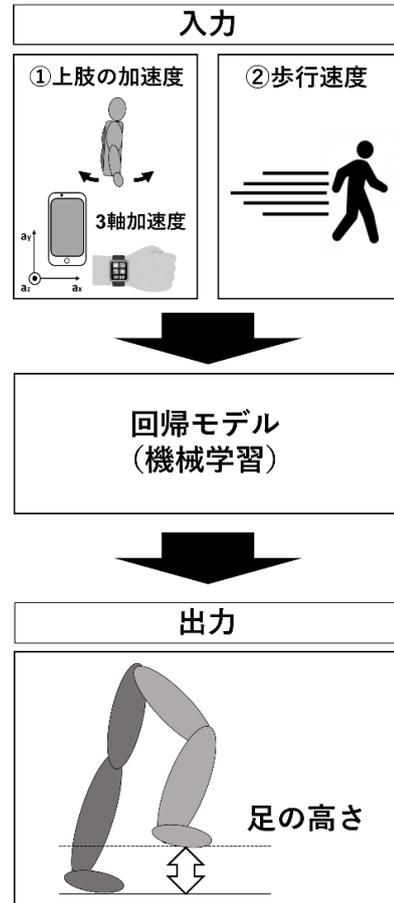


Fig. 2 Proposed foot-ground clearance prediction.

3. 提案手法の検証

3.1 検証に用いたデータセット

前述の通り、本研究では歩行に関する公開データセット⁹⁾を用いたシミュレーションによって提案手法の有効性を検討した。シミュレーションで用いたデータセットは、Schreiberらによって公開されており、このデータセットは歩行速度の異なる様々な歩行における全身の3次元位置座標を光学式モーションキャプチャ（赤外線カメラ10台、

サンプリング周波数：100 Hz) によって計測したものである⁹⁾。

このシミュレーションでは、男性高齢者1名(年齢：67歳，身長：1.83 m，体重：98.0 kg)と女性高齢者1名(年齢：63歳，身長：1.66 m，体重：60.2 kg)の歩行データを用いた。なお、被験者には歩行に影響する疾患はなかった⁹⁾。また、これらのデータはSchreiberらが所属するRehazenter(医療機関)におけるMedical Ethic Committeeの承認を得て計測された⁹⁾。

3.2 検証に用いたパラメータ

シミュレーションには3つの異なる歩行速度(詳細は後述)における計14試行(各歩行速度で4～5試行)の歩行データが用いられた。これらのデータにおいて、被験者は1試行につき10mの直線歩行を実施した⁹⁾。データセットにおいて、3つの歩行速度は $0 < C1 < 0.4$ m/s, $0.4 \leq C2 < 0.8$ m/s, $0.8 \leq C3 < 1.2$ m/sとして定義されており⁹⁾、これらの歩行速度に関するラベルC1～C3は提案手法に用いる特徴量(入力データ)に用いられた。

提案手法の特徴量である上肢の加速度には、左橈骨茎状突起(手首の親指側における突起)の3次元位置座標を時間で2階微分した値が用いられた。出力である足の高さのデータには、左第2中足骨における垂直軸上の位置座標が用いられた。なお、足の高さは被験者の身長で除することで正規化した(単位：%height)。

3.3 解析方法

本研究では、以上のデータから橈骨茎状突起(手首)の加速度情報と歩行速度のラベルを特徴量とした機械学習の回帰モデルによって、足の高さ(第2中足骨の高さ)を高い精度で推定可能であるか

否かを検討した。さらに、本研究では提案手法に有効な特徴量を調査するため、2パターンの特徴量の組み合わせ(①上肢の加速度+歩行速度，②上肢の加速度のみ)における推定精度を比較した。

本研究では、機械学習アルゴリズムとして、著者らの先行研究で推定精度が高かったk-Nearest Neighbor(k-NN)¹⁰⁾を選定した。提案手法の推定精度を評価する指標として、真値と推定値間における相関係数と二乗平均平方根誤差(Root mean squared error, 以下RMSEとする)を算出した。また、これらの推定精度を算出する過程で学習データとテストデータを入れ替えながら評価する10分割交差検証を実施した。

4. 結果と考察

Fig. 3とFig. 4に推定値と真値間におけるRMSEと相関係数の結果を示す。上肢の加速度と歩行速度の両方を特徴量に用いた場合、提案手法は両方の被験者で0.9%height未満の誤差(RMSE)と0.6以上の相関係数で足の高さを推定できた。この結果から、提案手法は転倒防止システムの対象である高齢者の足の高さを高い精度で計測できると考える。また、両方の被験者において、歩行速度を特徴量に加えたほうが推定精度が高かった。この結果から、提案手法において上肢の加速度と歩行速度の組み合わせが有効であると考えられる。

本研究の限界は被験者が高齢者2名に限られていたことである。今後は、高齢者と若年者の両方を含んだより多くの人数で検証をおこない、身長や体重などの身体パラメータが推定精度に及ぼす影響を調査する必要がある。また、実際のスマートデバイスを用いた実験によって、提案手法の有効性や改善点を検証する必要があると考える。

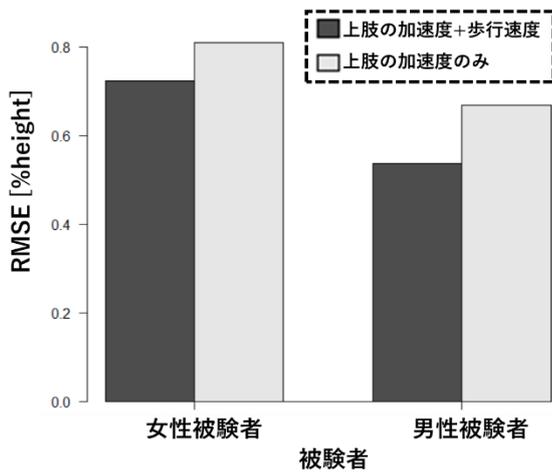


Fig. 3 RMSE values of foot-ground clearance.

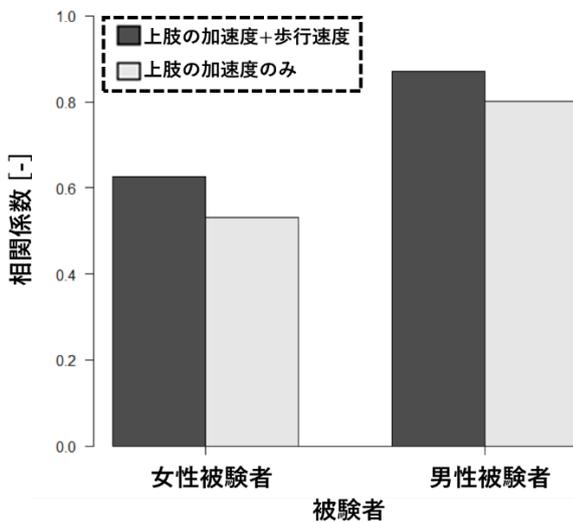


Fig. 4 Correlation values between predicted and actual foot-ground clearance.

5. おわりに

本研究では、スマートデバイスを用いた転倒防止システムの実現に向けて、上肢の加速度を特徴量とした機械学習によって定量的な足の高さを推定する手法の提案した。また、本研究では高齢者の歩行データを含む公開データセットによって提案手法の検証を試みた。

検証の結果、提案手法は転倒防止の対象となり得る高齢者の歩行においても足の高さを高い精度で推定できる可能性が示された。

今後は、身体パラメータなどの個人差が推定手法に及ぼす影響について調査する。また、将来的にはスマートデバイスを用いた実験によって提案手法の検証と改善を進めていく。

6. 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 (JP21K12798) の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 大高洋平: 高齢者の転倒予防の現状と課題, 日本転倒予防学会誌, 1, 11/20 (2015)
- 2) L. J. Cartagena, A. Kang, S. Munnangi, A. Jordan, I. C. Nweze, V. Sasthakonar, A. Boutin and L. D. George Angus: Risk factors associated with in-hospital mortality in elderly patients admitted to a regional trauma center after sustaining a fall, *Aging Clinical and Experimental Research*, 29-3, 427/433 (2017)
- 3) 金憲経, 吉田英世, 鈴木隆雄, 石崎達郎, 細井孝之, 山本精三, 折茂肇: 高齢者の転倒関連恐怖感と身体機能: 転倒外来受診者について, *日本老年医学会雑誌*, 38-6, 805/811 (2001)
- 4) 齋藤誠二, 村木里志: 高齢者の障害物またぎ動作における足の軌跡と位置知覚に関する研究, *人間工学*, 46-2, 172/179 (2010)
- 5) R. Zhong, P.-L. P. Rau, and X. Yan: Gait assessment of younger and older adults with portable motion-sensing methods: A user study, *Mobile Information Systems*, 2019, Article ID 1093514 (13 pages) (2019)
- 6) 北川広大, 田口湧, 戸谷伸之: 歩行中の足の高

- さが上肢の加速度に及ぼす影響, 理学療法科学, 32-4, 549/552 (2017)
- 7) K. Kitagawa, Y. Taguchi, and N. Toya: A Study on Classifiers in a Gait Classification Method Using Arm Acceleration Data, International Journal of Biomedical Soft Computing and Human Sciences, 22-2, 49/56 (2017)
 - 8) K. Kitagawa, C. Wada, and N. Toya: Automatic Gait Classification using Arm Acceleration based on Stature and Gait Speed, Proceedings of 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech2022), 636/637 (2022)
 - 9) C. Schreiber and F. Moissenet: A multimodal dataset of human gait at different walking speeds established on injury-free adult participants, Scientific data, 6-1, 1/7 (2019)
 - 10) 北川広大, 和田親宗, 戸谷信之: シミュレーションによる上肢の加速度情報を用いた足の高さ推定手法の基礎検討, Japan AT フォーラム 2022 講演論文集, 11/12 (2022)