

三軸加速度センサを用いた詳細歩行能力解析と歩行支援のため のリハビリテーション・トレーニング方法の検討

黒住 亮太^{*}，田中 基史^{**}，倉本 圭^{**}，小橋 昌司^{**}，畑 豊^{**}

Fine Walking Analysis using Tri-axis Accelerometer and Consideration of Walking Ability Improvement for Rehabilitation and Training

Ryota KUROZUMI^{*}，Motoshi TANAKA^{**}，Kei KURAMOTO^{**}，Syoji KOBAYASHI^{**}
and Yutaka HATA^{**}

ABSTRACT

We are performed the walking analysis using three-dimensional accelerometer and develop the real-time walking analysis system. We are investigated the relation between maximum acceleration value in walking and several personal properties such as age, weight, height and we found the correlation between maximum acceleration in sagittal plane and age. We considered walking ability improvement for rehabilitation and training by concluding fine walking analysis.

Keywords: walking analysis, three-dimensional accelerometer, rehabilitation, training

1. 緒言

近年、メタボリックシンドロームなど生活習慣病の問題が注目される中、ヘルスケアに対する社会的意識が向上し、歩行計測が身近なものになりつつある。携帯電話等の小型通信機器にも3次元加速度センサが搭載されるようになり、歩数計測等に利用され、利用者のヘルスケアモニタリングの道具として活用がなされるようになっている。また得られた情報を無線または有線のネットワークを通じてストレージに保存し、長期間にわたる情報を自動的に蓄積できるシステムも盛んに開発され、加速度計の他にも体温計・パルスオキシメータ・脈拍・血圧計・体重計などさまざまな機器から身体情報を計測、記録保存し、そのデータを活用することができるシステムの開発が進められている⁽¹⁾。また成人病だけでなく、高齢者の健康維持に大きく関わる、歩行能力や運動能力の計測や評価技術も重要

な事項である。歩行支援や、リハビリテーション・トレーニングについて考える上で重要であると考えられる。

本研究で用いる、3次元加速度センサから得られる情報はさまざまであるが、生活中における動態の特徴量抽出の一例として、歩行時の3次元加速度データと被験者情報（ここでは特に年齢を対象とした）の相関を調べ、健康モニタリングシステム構築を試みた。歩行速度、歩行周期、離地接地力などの情報を取得することで被験者の転倒リスクを予想するシステムなど高齢者の健康保持のためのシステムを提案できる可能性のあるデータを取得することができる。歩行時の3次元加速度の測定例を図1に示す。3次元加速度センサは胴体部に装着し測定を行い、サンプリングは1秒間に10点の速度で行った。

図1に示される加速度データの経時変化をみると、進行方向、垂直方向、上下方向の加速度変化に特徴があり、かかと着地(ヒールストライク)し、つま先で離地(トゥオフ)するタイミングがピークよりわかる。

^{*}神戸市立工業高等専門学校 機械工学科 講師

^{**} 兵庫県立大学大学院工学研究科電気系工学専攻

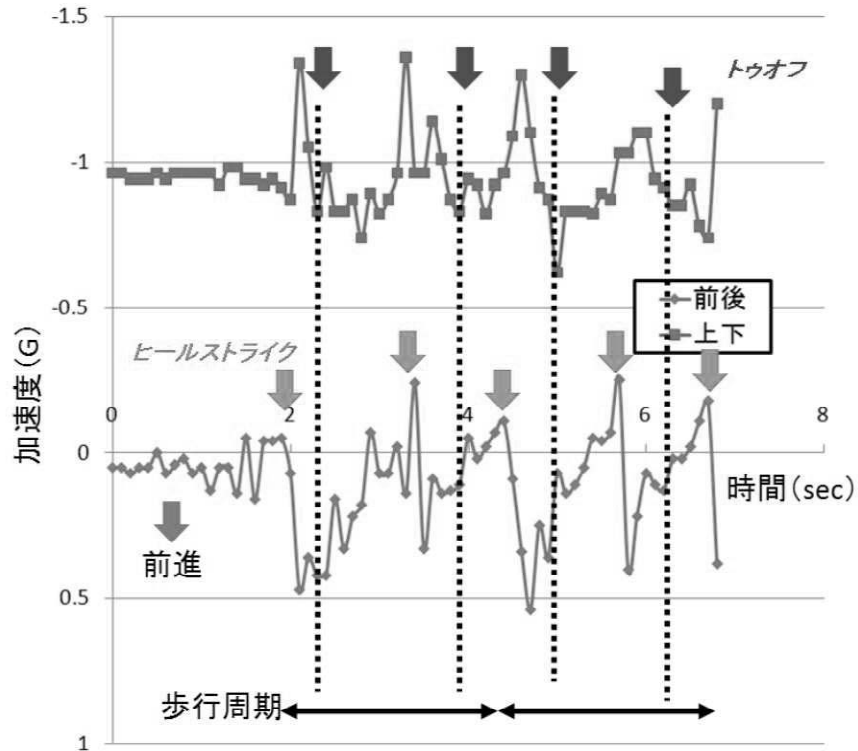


図1 歩行時の加速度情報の経時変化例

歩行分析時の特徴量で注目される事項として、歩行周期時間、ステップ長、歩行速度、足関節最大底屈角、膝関節最大伸展モーメント等がある。また、得られた量を積分等の処理によりエネルギー等の計算も可能である。歩行周期はイニシャルコンタクト位置に関わらず、同じ位相となる時刻間の時間差がわかれば計測可能である。図1に示す加速度情報から歩行周期を算出することは比較的容易である。ステップ長を正確に測定するには加速度データに混入する重力加速度成分や装着のゆるみによる加速度計のゆれを得られたデータより取り除く必要があり、計測やデータ処理を正確に行う必要がある。ステップ長と歩行周期が計測できればそこから歩行速度を算出することができる。歩行速度は年齢と相関があることが知られ、歩行能力を表す指標としてこれらの情報の利用が可能と考える。しかし簡易な計測条件では加速度計から歩行速度を算出することは難しく歩行速度と年齢の相関の定量化は困難なため異なる特徴量抽出が必要となる。本研究では矢状面における加速度情報の経時変化や最大値・最小値に注目し、年齢などの個人情報との相関の有無を調べた。

2. 歩行データ計測方法

歩行時加速度データ取得実験の詳細について次に述べる。実験では20代から60代の健常者49名に対して歩行時の加速度変化についてデータ取得を行った。測定条件の一覧を表1に示す。

表1 測定条件

歩行条件	全周 30m のトラック
加速度計位置	下胴体部
サンプリング速度	128Hz
サンプリング時間	180 秒

加速度情報の経時変化のプロファイルと年齢等との相関を検討した。20代から60代までの全員について相関は見られなかったが45歳以上の被験者(16名)は、けり上げ時の力と相関すると考えられる上下方向(重力加速度方向)の最大加速度と年齢については、1次の相関がみられた。それを図2に示す。男性、女性に分けた場合についても相関がみられた。これについても図2に示す。また最大加速度と身長・体重との相関についても調べ相関が認められた。

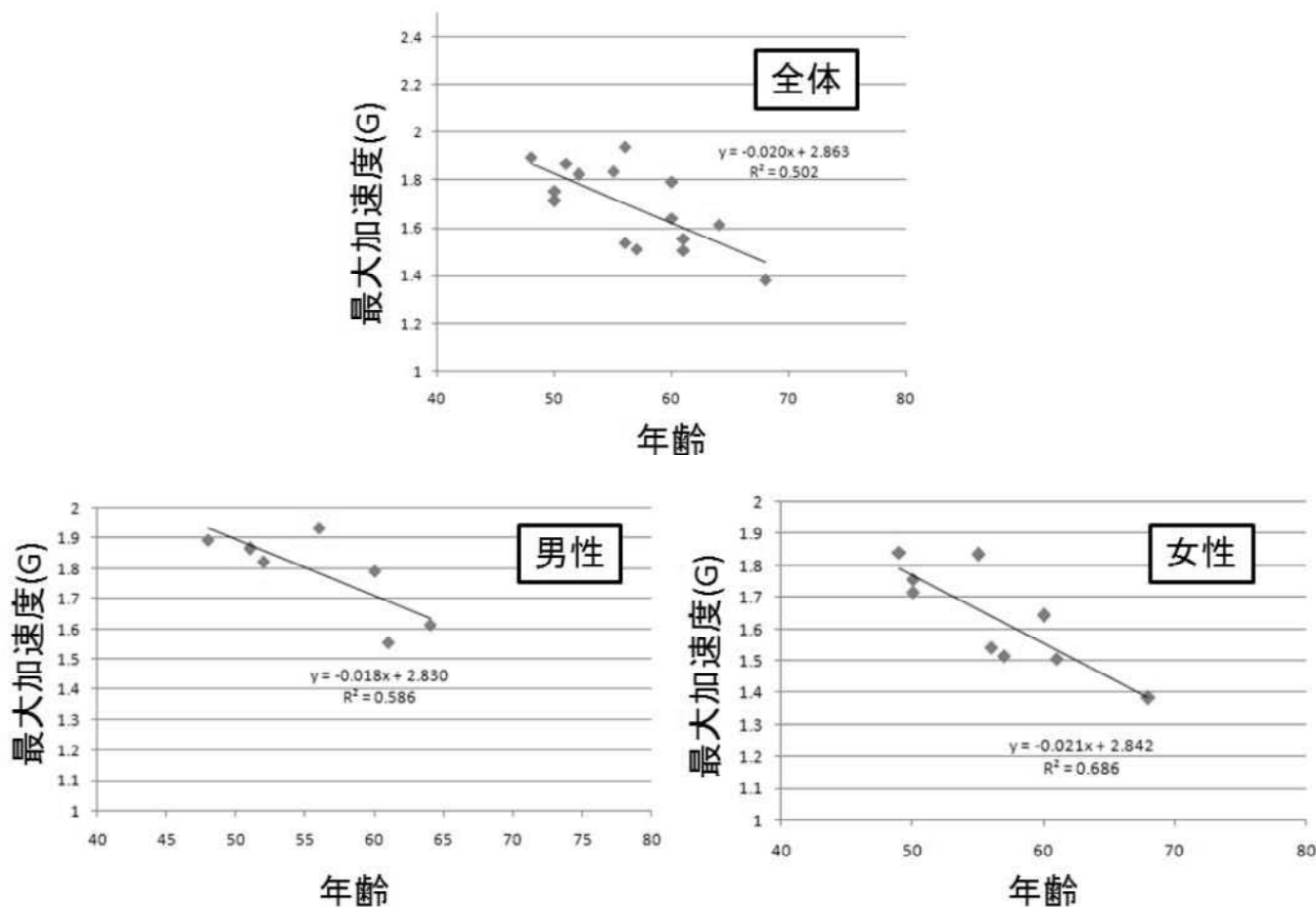


図2 上下方向(矢上面)の最大加速度と年齢との相関

3. 結果と考察

3.1 年齢との相関 45歳以上の被験者について

上下方向（矢状面）の加速度と年齢の相関を調べると、 $R^2=0.502$ となった。また男女別の最大加速度と年齢の1次の相関をとってみると先のデータより R^2 値が増加した。男性の場合のデータで $R^2=0.586$ であり、女性の場合のデータで $R^2=0.686$ であった。これらのデータは、年齢とともに身体能力が低くなる傾向がみられることを加速度情報から得られることを示唆している。身体能力は個人差があるため、必ずしも年齢と相関するとは限らないが、サンプル数が多くなっても傾向は変わらないと考える。上下方向の加速度は、図1に示したとおり、トゥオフの運動と関係しており、つま先のけり上げる力と相関していると考えられる。正常な歩行は、かかとで着地し、つま先でけり上げる動作であり、このつま先でけり上げる力がなくなると転倒につながる事が想定される。本実験の手法からつま先のけり上げ力が推算できれば転倒リスクの評価の指

標の一つとして加速度情報利用の可能性が考えられる。市販の転倒防止用靴下は、つま先をあげることで正しい歩行動作を促すものである。その効果の実証に提案する解析手法を用いることの有用性が考えられる。

3.2 身長・体重との相関

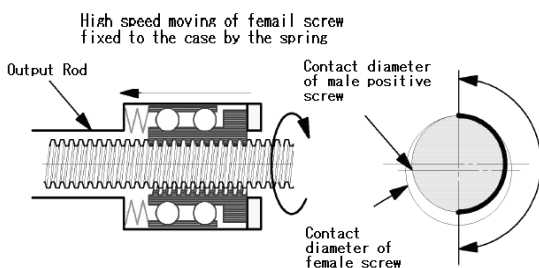
3.1と同様に、上下方向最大加速度と身長・体重の相関を確認した。体重と最大加速度の1次の相関について調べると、 $R^2=0.646$ であった。また、身長と最大加速度の相関の $R^2=0.650$ であった。身長または体重と身体能力との相関を直接考察することはできないが、つま先のけり上げる力は筋肉量と関係があることが推測され、以上の結果になったと考えている。いずれにしても3.1のように年齢との相関だけでなく、身長や体重との相関もみられたことを学習データとして逆に利用すると歩行時の加速度情報からさまざまな情報を推算することができる。サンプル数が少ないため精度は低い歩行時の加速度情報からおおよその年齢や体重・身長が推測できることになる。今後さらにさまざま

ま情報との相関を解析する必要があるが、加速度情報から得られる新しい特徴量があることがこの結果より示唆される。

4. 歩行能力改善に向けた取り組み

前節において、つま先の蹴り上げる力、すなわち筋肉量が歩行能力に関係する可能性が示された。そこで、現在開発が進められている新方式リニア駆動ユニットを応用した立ち上がり補助座椅子⁽²⁾のリニア駆動ユニットを、適応学習制御を用いた力制御⁽³⁾をすることによって、つま先の立ち上がりを支援しつつつま先の蹴り上げ力を向上させるトレーニングを行い、年齢に応じてつま先の蹴り上げ力が低下する傾向をおさえ、歩行能力を改善する研究を行っている。

In the case of no loading



In the case of loading

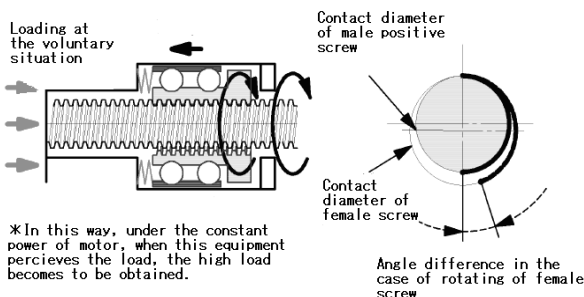


図3 新方式リニア駆動ユニット



図4 新方式リニア駆動ユニットを応用した立ち上がり補助座椅子

5. まとめ

3次元加速度センサで得られる情報は様々だが、生活動態の特徴量抽出の一例として歩行時の3次元加速度データと被験者情報（ここでは特に年齢を対象とした）の相関を調べた。歩行速度、歩行周期、離地接地力などの情報を取得することで被験者の転倒リスクを予想するシステムなど高齢者の健康保持のためのシステムを提案できる可能性のあるデータを取得した。20代～60代の健常者49名に対し歩行時の加速度変化についてデータを取得し、加速度変化のプロファイルと年齢との相関について検討した。20代～60代までの全員について調べても相関は見られなかったが45歳以上の被験者（16名）について、けり上げ時の力と相関すると考えられる上下方向の最大加速度と年齢については1次の相関が示された。男性・女性について分けて相関をとるとそれぞれ R^2 値が向上した。また、体重、身長と歩行時の上下方向の最大加速度の相関についても検討を行い、身長・体重と最大加速度についても1次の相関が示された。年齢及び身長をファクターとした関数を作成するとさらに最大加速度との相関が良いデータを得た。今後さらに被験者数を増やす必要、それぞれのファクターが歩行に与える影響について詳細に調べる必要があるが、年齢、身長等の特徴量の入力により歩行に関する評価精度の向上が示唆された。また、評価の結果を生かした支援・リハビリ機器の開発も合わせて行っていく予定である。

参考文献

- (1) B. Piniewski et al, "Empowering healthcare patients with smart technology", Computer, IEEE Computer Society, pp. 27-34, 2010
- (2) 新堀ら, "新方式リニア駆動ユニットの応用に関する研究", 日本高専学会誌, Vol. 16, No. 3, pp. 17-22, 2011
- (3) R. Kurozumi et al, "Development of a Training Equipment with Adaptive and Learning Mechanism Using a Balloon Actuator-Sensor System", Systems, Man and Cybernetics, 2007. ISIC. IEEE International Conference, pp. 2624 - 2629, 2007