

スマートデバイスを用いた高齢者・障害者の歩行分析と行動推定

Walking Analysis and Behavior Estimation of the Elderly and the Visually Impaired
with Three-axis Accelerometers on Smart Devices田口 健斗^{*1}
Kento Taguchi矢入 郁子^{*1,2}
Ikuko Eguchi Yairi岡田 遼太郎^{*2}
Ryotaro Okada岩澤 有祐^{*2}
Yusuke Iwasawa^{*1} 上智大学理工学部
Faculty of Science and Technology, Sophia University^{*2} 上智大学大学院理工学研究科
Graduate Schools of Science and Technology, Sophia University

本研究は、スマートデバイスを用いた高齢者・障害者の生活支援に向けて、スマートデバイスに搭載されている三軸加速度センサを用いて計測した、11 名の高齢者・障害者の屋内・屋外の歩行データとその分析結果を示す。そして、三軸加速度センサデータに位置データと環境モデルを追加することで、具体的にどのくらいの粒度と精度で行動推定が可能であるかを、1 名の高齢者の 2 日間の屋内行動データをもとに示す。

1. はじめに

近年は高齢化と並行して医療が進歩し、身体に障害を抱える人々がよりよい生活をおくることが可能になっている一方で、公共機関等の発達による人々の運動不足が原因で怪我や病気をしやすくなっている人が増加している。このような現状を踏まえ本研究では 3 軸加速度センサをもとに高齢者・視覚障害者の歩行に焦点を当て、転倒を防ぐための運動療法面での歩行研究と赤外線アレイセンサを併用した在宅時における行動推定で高齢者が快適かつ安心して生活することが出来る環境作りを目指す。我々は歩行実験を通じて様々な被験者の歩行にはわずかながら違いがあることを確認した。この結果から我々は 3 軸加速度を用いて出力した波形をもとに歩行に関する特徴を解析した。本稿では歩行実験と在宅時のセンサのみによる観察実験を概説し、それらの実験の結果と考察、今後の展望について述べる。

2. 高齢者・視覚障害者の歩行分析と行動推定

2.1 高齢者と視覚障害者の歩行分析

高齢者の多くが抱える大きな問題として「寝たきり」がある。寝たきりになる要因の一つに転倒がある。高齢者の転倒は、「寝たきり」という負のサイクルに陥ってしまうという問題をも抱えている。少子高齢化に伴い高齢者の介護などのニーズと同様に、高齢者が安全に生活を送れるような環境やシステムのニーズも増加している。このような現代のニーズに合わせたシステムが開発されているが、高齢者・医療・介護等のシステムは非常に精度が高く高額である。そこで我々は全ての高齢者が利用できるような安価なシステムの実現を目指す。また、本実験では測定範囲 2g の 3 軸加速度センサを搭載した ipod touch を用いた。

近年高齢者が日常的に身につけているデバイスの一つにらくらくホンなどのスマートフォンがある[1]。現在 iPhone のようなスマートフォンに代表されるスマートデバイスは身につけることに抵抗感がなく、支援用のデバイスとして最適であるといえる[2]。スマートデバイスは外出時や在宅時の行動データを記録することができるだけでなく 3 軸加速度センサやジャイロセンサ等の搭載により、行動をデータとして記録することができるという利点を持っている。行動をデータとして記録・分析することにより、人間が目でも把握することができない高齢者の日常生活の特性を導くことができ、未来の高齢者支援開発のための重要な基礎データになると考えられる。また、スマートデバイスのように、日常持ち歩くデバイスを利用してデータを取得することは、大量のデータを集めるという点においても大きなアドバンテージがある。Amazon のレコメンデーションシステムが大量のユーザの情報をもとに個人の好みに即した商品を効果的に利用者一人一人に推薦しているように、多くの人数の日常生活におけるデータ・歩行データを蓄積・解析することによって、個人の主観に即した支援を可能にすることが期待される。また、一人のデータであっても、毎日の行動を蓄積することで、小さな波形の変動を検出し、いち早く体調や重大な身体の疾患に対応することが可能となると考えられる。これらのように、高齢者の日常行動をスマートデバイスベースのシステムによって記録・蓄積することによって、従来では困難であったより詳細な歩行分析や行動分析、個人の主観に応じた支援を可能にすることが出来ると考えられる[3][4]。

2.2 高齢者の行動推定

2.1 で高齢者が抱える問題の多くは寝たきりであり、原因として転倒が挙げられた。現代では高齢者の増加に伴い、さまざまな施設のバリアフリー化が進んでいる。また欧米都市では、公共交通機関のみの進入・運行が可能な歩行者道路が整備されているランジットモールがある。このように海外ではもちろん

連絡先: 田口 健斗, 上智大学理工学部情報理工学科, 東京都千代田区紀尾井町 7-1, 03-3238-3280, taguchi@yairilab.net

んのこと日本でも高齢者が過ごしやすい街作りが行われているが高齢者の転倒による怪我や病気は後を絶たない。高齢者の転倒は屋外よりも屋内の方が多というデータも出ていることを踏まえると、いくら高齢者が過ごしやすい街作りを進めても転倒の数が格段に減ることはないと言える。屋内で高齢者の転倒等を防ぐことや、転倒した後すぐに手当をすることが可能であるのは老人ホームなどの高齢者介護施設しかないのであろうか。現代ではスマートフォン等のデバイスが普及し、人間の行動を把握することが出来るような技術が進んできています。また、監視カメラや防犯カメラ設置によって屋内の様子をモニタリングすることもできます。しかし一般家庭で高齢者の転倒を検知するとなるとビデオカメラなどの映像となりプライバシーに配慮していない見守りシステムとなってしまいます。このように屋内にいる人の行動推定とプライバシー保護の間には大きな摩擦があり、システムの実用化となると問題が多発しコスト面から考えても現実的ではないと考えられます。このような現代の問題点を考慮した上で、我々は高齢者を見守るためのシステムを安価なセンサのみを用いて実現するため赤外線アレイセンサを用いた。

3. 歩行実験

3.1 実験の背景

私たちはこれまで、視覚障害者の諸特性と分岐点検知方法の関係や、歩行能力と心理特性の相関を把握することを目的に 6 名の重度視覚障害者を対象に歩行実験を行った[5]。さらに歩行実験のデータを収集し、iPod touch に搭載された 3 軸加速度センサによって取得した行動データを用いて歩行能力と歩き方との相関を調査するために機械学習を含む詳細な分析を行った。その過程で収集した歩行データをグラフにプロットすると年齢に応じて特徴のある歩行パターンが見られることと、高齢者グループが分岐点検知能力において低くなる傾向が見られた。この加齢による歩行への影響を更に詳しく研究するために、本研究では新たな被験者のデータを収集し実験を行うこととした。

3.2 実験方法

我々は以下の二点の条件で実験を行った。

- 1) 健康な 1 名の高齢者と、病院でリハビリを行っている 3 名の高齢者に協力してもらい実験を行った。
- 2) 高齢者の転倒の原因を大別すると内的要因と外的要因に分けることができ、外的要因には屋内の障害物、住まいの環境等が挙げられる。高齢者の転倒は一見屋外が多いと思われるが一般的には居間、寝室、廊下などといった屋内での転倒事故の割合が多い傾向にあるため実験地として屋内を採用した。

上記の条件に即した実験を行うため 2 つの実験を行った。(1) 自宅で 77 歳の高齢者を対象とし、加速度センサを用いて計 2 日間での日常生活行動データを収集する実験。(2) 都内某病院のリハビリテーション室で入院患者 3 名を対象とし、計 5 日間の加

速度センサによる歩行データ収集実験を行った。また追実験の 1 つとして若い健常者に 3 軸加速度センサを付け様々な歩行を試しグラフで確認した。



図 1 実験を行ったリハビリテーション室

3.3 実験結果

本実験での結果を図 2 に示す。P1 の波形は y 軸の縦の幅が狭いことからすり足であり荷重をかけずに歩行していることが分かる。P2 の波形は左手で杖をついて(図 2 中の×部分)歩行し、右足をつく前に杖を用いて右足への荷重を少なくしていることが分かる。P3 は x 軸がプラスに振れている右足をつくときには y 軸に 3 段階の荷重負荷(図 2 中の○3 つの箇所、踵からついてつま先で蹴る流れ)が見られるが左足の時は見られない。P4 の波形は左右とも 3 段階の荷重負荷が見られる。さらに y 軸の幅も大きいことから地面を蹴る力が強いことが分かった。今回の実験では P4(若い健常者)で高齢者の歩行パターンを再現し確認した。

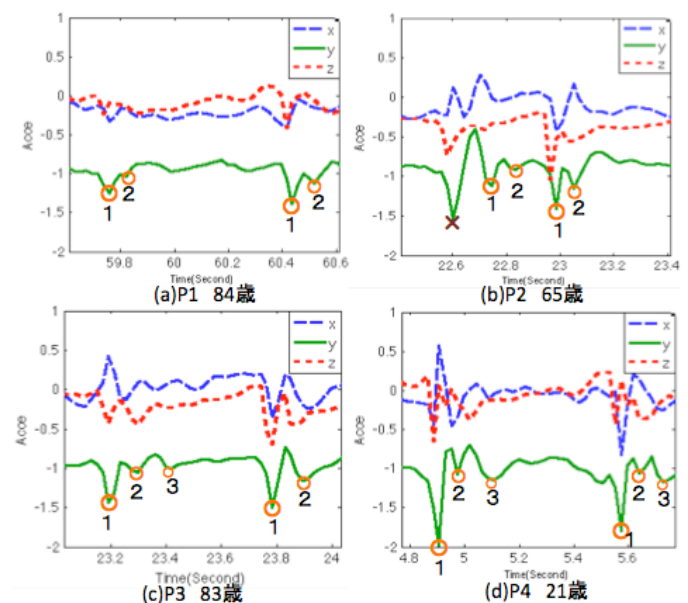


図 2 高齢者 3 名と若年健常者の歩行時の加速度波形の比較, x: 被験者が直立したときに鉛直方向の加速度, y: 同水平方向, z: 同進行方向, ○: 荷重負荷のポイント(○が 3 つの箇所は足裏の荷重負荷が正常)

4. 屋内行動推定実験

4.1 実験背景

本研究では 3 軸加速度センサを用いて高齢者や視覚障害者、若い健常者を被験者に採用して歩行実験を行った結果、様々な歩行特性を観察することが出来た。本研究の過程では 3 軸加速度センサで収集した歩行データでは加齢に伴う歩行特性の変化を確認することが出来たため高齢者の歩行特性に着目した。高齢者の歩行を若い健常者の波形と比較した結果、転倒の可能性が高いことが示された。そこで我々は高齢者の転倒を防ぎ、高齢者が転んでしまった場合でも早急に対処出来るような屋内の環境づくりを実現させることを目指した。そこで本研究に歩行実験の際に用いた 3 軸加速度センサに加え、温度をグリッドとして表示させることが出来る赤外線アレイセンサを用いることで、人の行動と居場所を認識し行動を把握・推定出来るかを確認するために追実験を行うこととした。

4.2 実験の目的

本実験の目的は屋内で生活している人を対象に安価で簡単なセンサを用いるだけで行動の把握・推定が可能かどうかを確認するというものである。同時に赤外線アレイセンサの感度や 3 軸加速度センサの性能で人がどこで何をしているのかが分かるのかを確認する。

4.3 実験結果

3 軸加速度センサと赤外線アレイセンサを用いた屋内行動推定実験での 3 軸加速度センサを搭載した ipod touch で収集したデータの波形と赤外線アレイセンサで収集した温度グリッド図を以下に示す。本実験での被験者の波形は、全ての波形の水平方向である y 軸の範囲を $-2 \sim 1$ と設定した上で波形として示す。理由としては、3 軸方向の範囲は全ての波形が図に収まる閾値である $-2 \sim 1$ を採用した。

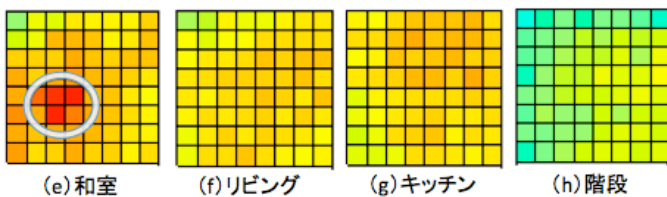


図3 赤外線アレイセンサで取得したデータ

図3の4つの赤外線アレイセンサから和室の中央左下に人がいることが見て分かる。更に同時刻前後4秒までの加速度センサの波形は図4に示すようになっている。図4の波形からは人間が歩行→着席の様な状態変化をしていることが確認できた。このように温度と加速度のデータを組み合わせるとどこで何をしているかを確認することができる。この2つの安価なセンサを用いるだけで人間の行動と位置を把握し、人間の行動推定を可能にした。例えばこのようなセンサを用いることで一人暮らしの高齢者を

見守ることができるシステムの実現の可能性を示せた。更に今回用いた赤外線アレイセンサはビデオでの撮影とは異なりプライバシーに配慮している点からも高齢者に対して安心・安全な生活環境作りの実現が可能であるといえる。

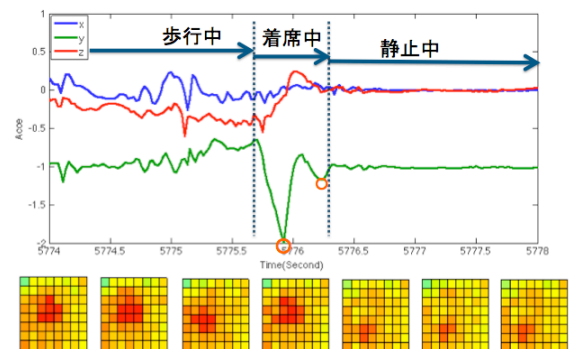


図4 図3の温度分布時の前後4秒の加速度波形

5. 考察

5.1 視覚障害者加速度波形特徴

先行研究での分岐点検知調査で検知できた分岐点の数に応じて以下のようなグループ分けを行った。

14カ所の分岐点のうち13カ所以上検知できた被験者を分岐点検知能力の高い被験者グループ、13カ所未満しか検知できなかった被験者を分岐点検知能力の低い被験者グループとした。

分岐点検知能力の高い被験者/検知能力の低い被験者図5から分かるように分岐点検知能力の高さが違うと、加速度センサで収集した波形データ特徴に違いが見られる。分岐点検知能力の高い被験者グループに見られる特徴は以下の2点である。

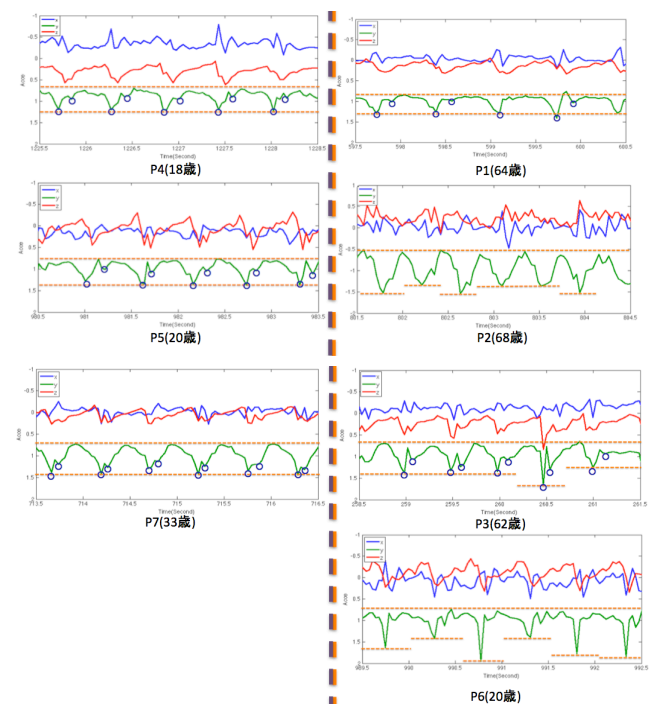


図5 視覚障害者の分岐点検知能力別歩行データ一覧

1つ目は、鉛直方向を示すy軸波形の加速度の振れ幅が常に一定であるということだ。図5では見やすいように加速度の振れ幅の閾値をオレンジ色の点線で示している。オレンジ色の点線が一直線で示されているところは、分岐点検知能力の高い被験者は常に同じ荷重負荷で歩いているということを意味する。また、両方の足とも同じ荷重負荷で歩いていることを意味する。

2つ目は、鉛直方向を示すy軸波形の紺色の○印部分の数と一歩中の2つの○印部分の規則性である。ここで示されている○印は荷重負荷の部分である。図5を見ると分かるように最初の○印の右上に次の○印が存在しているというような波形の特徴が見られた。

同様に、進行方向を示すz軸と水平方向を示すx軸の加速度波形に着目すると一定でブレが少ないという特徴も分岐点を検知する際に重要であると考えられる。

次に分岐点検知能力の低い被験者グループの加速度波形の特徴を述べる。分岐点検知能力の高い被験者とは異なり、分岐点検知能力の低いそれぞれの被験者は分岐点を検知できない何らかの理由があると考えられるため、われわれは分岐点検知能力の高い被験者に共通する特徴ではない箇所に着目することとした。

① **P1** 被験者P1の加速度波形の図を見ると分岐点検知能力の高い被験者に見られた加速度の振れ幅が常に一定であり荷重負荷も規則的である。進行方向を示すz軸と水平方向を示すy軸の加速度波形に着目すると分岐点検知能力が高い被験者同様ブレは少ない。しかしこの被験者P1は分岐点を14箇所中8箇所しか検知出来ていないのである。唯一この被験者に特徴があるとすれば鉛直方向を示すy軸の加速度の振れ幅が分岐点検知能力の高い被験者と比べると小さいことである。

② **P2** 被験者P2の加速度波形の図を見ると鉛直方向を示すy軸波形の加速度の振れ幅が一定でないことが分かる。同様に進行方向を示すz軸と水平方向を示すx軸の加速度波形に着目すると加速度波形に規則性が見られない。つまりこの被験者は足の荷重負荷バランスが悪く、両足共に一定の荷重負荷で歩いていないといえる。

③ **P3** 被験者P3の加速度波形の図を見ると、たまに加速度の振れ幅が変化していることが分かる。この振れ幅の変化の回数は分岐点検知能力の高い被験者と比べると多い。また荷重負荷の度合いが変化して歩いていることが分かる。同様に進行方向を示すz軸と水平方向を示すx軸の加速度波形に着目すると加速度波形に規則性が見られない。また、紺色の○印部分が常に規則的になっておらず、足裏の使い方が一定でないということがいえる。

④ **P6** 被験者P6の加速度波形の図を見ると、被験者P2と同じような特徴が見られる。鉛直方向を示すy軸波形の加速度の振れ幅が一定でないという部分のことである。また、水平方向を示すx軸と鉛直方向を示すy軸に着目すると右足の方が荷重負荷の度合いが大きいということが分かる。つまりこの被験者は左右の足の荷重負荷バランスが悪く、両足共に一定の

荷重負荷で歩いていないといえるが、進行方向を示すz軸の加速度波形に着目すると規則性が見られる。

これらの歩行の特徴より、視覚障害者が分岐点を検知するための最適な歩き方のポイントとして以下の2点が考えられる。

(1) 加速度波形の振り幅を一定にすること、つまり荷重負荷の度合いを一定にすることである。さらに、加速度0.5の幅での荷重負荷が今回の分岐点検調査の結果から最も分岐点を検知しやすいという特徴が見られた。理由としては荷重負荷をあまりかけない被験者P1の分岐点検知能力が低いことが挙げられる。

(2) 荷重負荷時の足裏の使い方を一定にすることである。足裏の使い方にむらがあれば図5の紺色○印部分が規則的なパターンとして現れるからである。

5.2 被験者毎の目的に合わせた歩行訓練の提示

本稿で示した実験によって得られた結果を元に、被験者種類毎に最適な歩行の要点を以下に示す。

- ① 高齢者の目的は転倒を回避するような歩行をすることであり、踵から着地しつま先で蹴り上げるような3段階荷重の見られる歩行をすること。
- ② 視覚障害者の目的は分岐点を検知することなので重心を低くし、足を高く上げず着地時の足裏の使い方が一定である歩行をすること。

このように被験者の目的に合わせた歩行訓練を行うことで被験者にとっての最適な歩行へと近づくことができ今後の運動療法に役立つと考えられる。

6. おわりに

本研究では、加速度センサを用いて出力した波形を観察し加齢による歩行特性パターンの違いを確認した。さらに赤外線アレイセンサと組み合わせることで行動推定を可能にした。

謝辞

本研究は(財)テレコム先端技術研究支援センター(SCAT)の助成により実施されました。

参考文献

- [1] Bmob Business Consultancy. 2010. World mobile population now numbers 5 billion, <http://www.themobileworld.com/>. Accessed 10 July 2010
- [2] Moraitis, P., Spanoudakis, N.: Argumentation-Based Agent Interaction in an Ambient-Intelligence Context; IEEE, Vol.22, Issue 6, pp. 84-93, (2007).
- [3] 大上, 橋山, 他: 三軸加速度センサを用いた歩行パターンの分類, 22nd fuzzy System Symposium, pp.506-511, (2006).
- [4] 久田見, 佐藤, 他: 空間認知実験に基づく視覚障害者の心理・歩行特性分析, Human Interface Symposium, pp.381-384, (2010).
- [5] 田口, 岩澤, 矢入: スマートデバイスの3軸加速度センサを用いた重度視覚障害者歩行分析の研究, Human Interface Symposium, 1225L, (2013)