

角速度分布を用いた歩行印象の定量化に関する一検討

A study on walking impression using the distribution of angular velocity

高橋 唯^{*1}

Yui Takahashi

松田 浩一^{*1}

Koichi Matsuda

^{*1} 岩手県立大学ソフトウェア情報学部

Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

In walking rehabilitation, physical therapist (PT) often evaluate subjects subjectively. Therefore, PT have a desire to utilize objective indicators. In the subjective evaluation, the PT visually observes the change and magnitude of the angle of the observation site. In this study, we focus on the behavior of the lumbar region, which is indispensable for walking, and propose a method for objectively presenting the difference in walking with angular velocity distribution.

1. はじめに

加齢や脳機能障害による運動機能の低下が日常生活に支障をきたす場合、リハビリテーションにより機能回復を行う必要がある。生活に必要な機能の自立度を評価する指標に、機能的自立度評価表(FIM ; Functional Independence Measure)があるが、歩行においては、距離と介護度によって評価が行われており、リハビリプログラムを作成する際に必要な歩き方の質については記載が見られない。そのため、理学療法士は、10m 歩行などの歩行を目視やビデオによる複数の方向からの観察により、健常者との歩行の差異を見て必要な筋肉を鍛えるリハビリプログラムを考案する。しかし、歩行動作の評価は定性的な情報が多く、患者のリハビリテーション前後でどの程度歩行動作に改善が見られたのかなど、変化の量を客観的に捉えることが経験レベルによっては難しい場合がある。そのため、患者の歩行動作のリハビリ前後の変化を客観的に捉えたいという要望がある。

先行研究では、背中と腰部の運動性に着目し患者の歩行動作を定量化する方法[1]、足の繰り返しの動作の分析による安定性の定量化[2]などが行われている。しかし、観察部位に対する印象の変化の要因については言及できていない。

歩行動作の観察においては、視覚的に注目部位の角度の範囲や変化の速さを見ている。そのため、角速度が歩行を見たときの印象の要素の一つになっていると考えた。本研究では、歩行において要となる骨盤の挙動に着目し、歩行の印象の違いを角速度分布により客観的に提示する方法を提案する。

2. 提案手法

本研究では、理学療法士が回旋の状態を見るときに着目する部位の一つである骨盤の挙動に着目した。骨盤の動きは手足に比べ挙動がきわめて単純で再現性が高い。歩行での骨盤の動きを抽出するため、3 軸角速度無線センサを腰部に装着した。これにより、センサから骨盤の角速度の動きを 3 次元的にとらえることができる。

連絡先: 高橋 唯, 岩手県立大学ソフトウェア情報学部,
〒020-0693 岩手県滝沢市菓子 152-52
g0311092@s.iwate-pu.ac.jp

以下の手順で分析に用いるデータを作成し、主観評価との対応を観察する。

- i. 角速度の時系列波形を一步ごとに分割
- ii. 左右の足ごとに時系列波形を結合
- iii. 左右の足ごとにヒストグラムを作成
- iv. ヒストグラムを作成する際には、横軸を統一し、縦軸は動的に作成

センサから得られた角速度の時系列波形について、ヒストグラムを見ることで傾向をつかみ、歩行の印象の違いとどのように対応するかどうかを実験によって確認する。

3. 実験

3.1. 実験方法

背面腰部に 3 軸無線センサを図 1 のように設置した。このとき、角速度の各軸の数値の変位について、X 軸は骨盤の側方傾斜、Y 軸は骨盤の回旋、Z 軸は骨盤の側方へのシフトを意味する[3]。

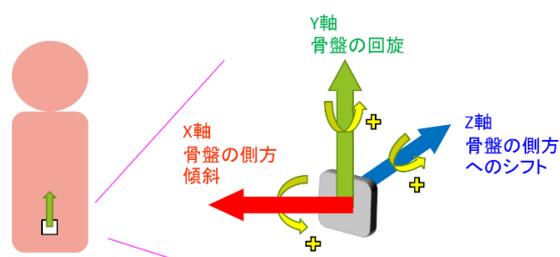


図 1:3 軸無線センサの設置位置・方向

実験では歩行の印象を変化させるため、自然歩行、下を向いた状態での歩行、の 2 種類の歩き方を同一被験者(成人男性 1 名)に各 2 回行ってもらった。歩行を映像と角速度センサにより取得し、歩き方の変化を目視で観察した。得られたデータと映像を対応させ、軸ごとに設けた基準で一歩ごとにデータを分割し、ヒストグラムの作成を行った。そして、目視による歩行の印象の違いとヒストグラムの形状の違いを比較した。

3.2. 予備実験結果

3.2.1. 映像による定性評価

映像による定性評価では、自然歩行に比べると下を向いた状態での歩行は、下を向くことによって上半身の回旋運動が弱くなり、それに伴い腰部の回旋運動も動きが鈍くなっていた。また、股関節の伸展が少ないため片足のつま先が地面から離れてから踵が着くまでの時間が短く、歩行スピードは減少し、歩幅も小さくなっている(図 2)ことが分かった。

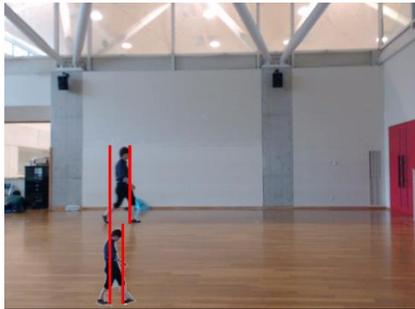


図 2: 静止面による歩幅の違いの確認

3.2.2. 角速度データによる数値評価

図 3, 4 に右足, 図 5, 6 に左足の X, Y, Z 軸の角速度分布を示す。以下に、複数の観点から見た傾向について述べる。

(1) 分布の傾向と動作との対応

Y 軸は右足の場合、プラスの部分に分布が多くなり、左足の場合はマイナスの部分に分布が大きくなる。これは、踵接地を一步の開始として区切ったとき、一步ごとに骨盤の回旋運動のバランスを見ることができる。Z 軸は右足の場合、マイナスの部分に分布が多くなり、左足の場合はプラスの部分に分布が大きくなる。これは、つま先で蹴り出す瞬間を一步の開始として区切ったとき、一步ごとに骨盤の側方へのシフト運動が見えることを示している。

(2) 骨盤の回旋運動(Y 軸)について

自然歩行はピーク値が 0 から離れ、絶対値の最大値付近の分布が多いが、下向き歩行はピーク値が 0 に近づき、ピーク値から絶対値の最大値付近への分布が少ない。角速度が 0 付近に集中していることや、絶対値の最大値付近への分布が少ないことは骨盤の回旋運動が鈍くなったことを示していると考えられる。

(3) 骨盤の側方へのシフト(Z 軸)について

自然歩行のヒストグラムと比べると下向き歩行はピーク値から絶対値の最大値付近への分布が少なくなっていた。角速度センサの Z 軸方向の動きは骨盤の側方へのシフトと対応しているため、その運動が減少していると考えられる。

以上の結果から、見た目の変化が各速度分布の変化に現れることが示唆された。

3.3. 本実験結果

患者がリハビリによって歩行の印象に変化が表れているか検証するため CVA 患者(脳卒中, 脳梗塞, 脳くも膜下出血など)で

ある被験者 3 名に対し直線 5m 歩行を各 2 回行ってもらい、骨盤の角速度を取得と目視による歩行の印象の違いとのヒストグラムの形状の違いを比較した。

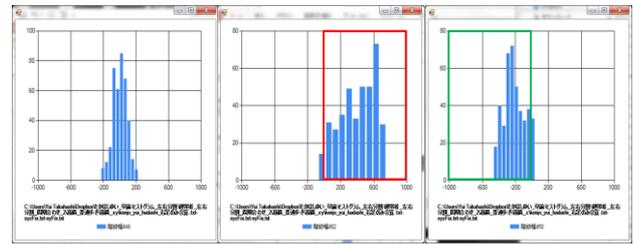


図 3: 自然歩行での右足のヒストグラム(X 軸, Y 軸, Z 軸)

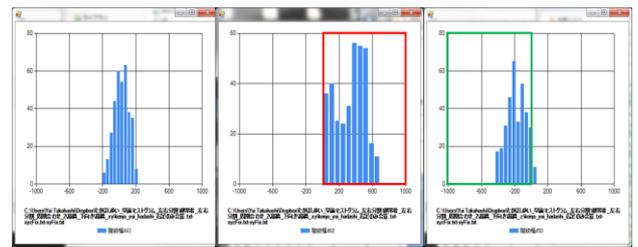


図 4: 下向き歩行での右足のヒストグラム(X 軸, Y 軸, Z 軸)

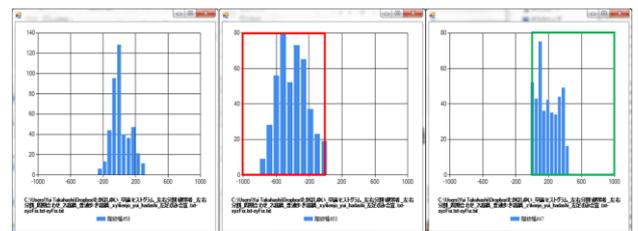


図 5: 自然歩行での左足のヒストグラム(X 軸, Y 軸, Z 軸)

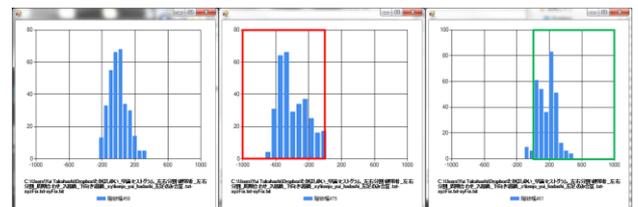


図 6: 下向き歩行での左足のヒストグラム(X 軸, Y 軸, Z 軸)

(1) 被験者 A 定性評価

図 7, 図 8 は 2 週目 3 週目で撮影した被験者 A の映像の一部である。患者 A は右下肢機能障害, 構音障害を患っているが、自立歩行はできている。映像を確認すると、歩隔の減少が確認できた。その要因として骨盤の回旋が上昇したためと考えられる。また、片足のつま先が地面から離れてから踵が着くまでの時間が長いことも確認でき、その要因として骨盤の伸展が向上したためだと考えられる。定性評価の結果、2 週間目から 3 週間目に骨盤の動きが全体的に向上していることが確認できた。

(2) 被験者 A 定量化結果

図 9~11 は、被験者 A の 1 週間おきに取得した 3 週分の X 軸, Y 軸, Z 軸の右足のヒストグラムである。Y 軸は週が経過ごとにピーク値から最大値付近への分布が増加していることが



図 7:患者 A の様子(2 週目)



図 8:患者 A の様子(3 週目)

分かる。骨盤の回旋が向上した定性評価とヒストグラムの評価が一致した。Z 軸は週が経つごとにピーク値がマイナス方向へシフトし、ピーク値から最小値付近への分布が増加している。定性評価では Z 軸に関して評価はなかったが、ヒストグラムからは動きが向上していることが分かる。

図 12～14 は、被験者 A の 1 週間おきに取得した 3 週分の X 軸、Y 軸、Z 軸の左足のヒストグラムである。Y 軸は週が経つごとにピーク値から最小値付近への分布が増加していることが分かる。骨盤の回旋が向上した定性評価とヒストグラムの評価が一致した。Z 軸は週が経つごとにピーク値から最大値付近への分布が増加している。定性評価では Z 軸に関して評価はなかったが、ヒストグラムからは動きが向上していることが分かる。

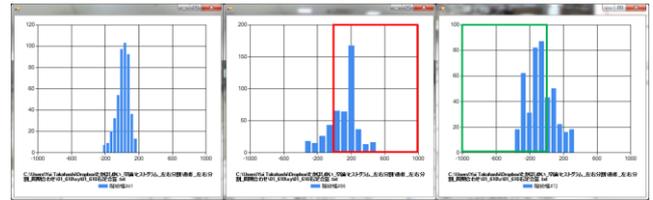
(3) 被験者 B 定性評価

図 15, 図 16 は 2 週目 3 週目で撮影した被験者 B の映像の一部である。患者 B は右脚機能障害、右感覚、構音障害を患っており、一転杖、右足補装具を使用しながら理学療法士に介護されて歩行している。映像を確認すると、理学療法士の介護度が変化しており、2 週目では体を両手で支えられて歩行をしていたが、3 週目になると右腕のみを支えられ歩行し、その介護度も少なくなっていることが確認できた。

(4) 被験者 B 定量化結果

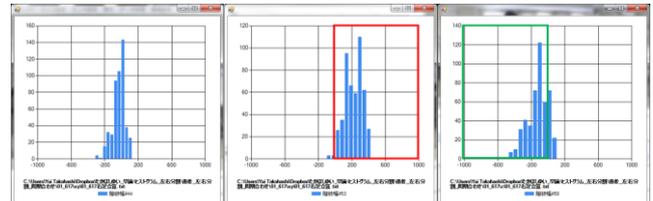
図 17~19 は、被験者 B の 1 週間おきに取得した 3 週分の X 軸、Y 軸、Z 軸の右足のヒストグラムである。Y 軸は週が経つごとにピーク値から最大値付近への分布がわずかに増加していることが分かった。骨盤の回旋が向上した定性評価とヒストグラムの評価が一致した。Z 軸を比較するとヒストグラムから変化は見られなかった。

図 20~22 は、被験者 B の 1 週間おきに取得した 3 週分の X 軸、Y 軸、Z 軸の左足のヒストグラムである。ヒストグラムを確認した結果、3 軸とも大きな変化は見られなかった。



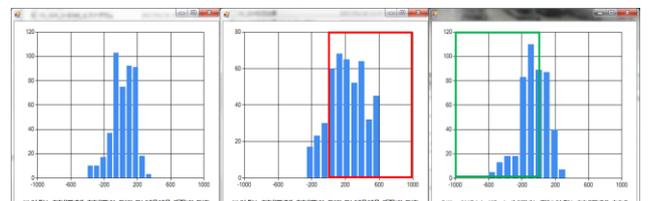
X 軸 Y 軸 Z 軸

図 9:患者 A 1 週目 右足



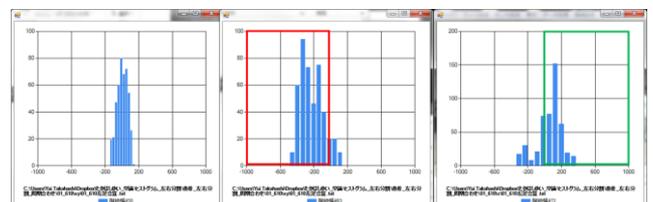
X 軸 Y 軸 Z 軸

図 10:患者 A 2 週目 右足



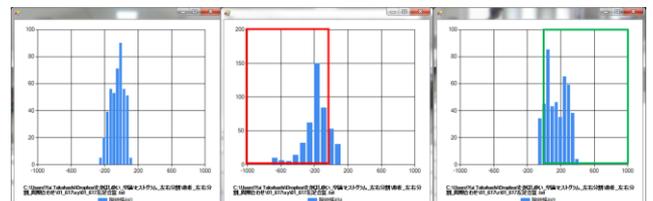
X 軸 Y 軸 Z 軸

図 11:患者 A 3 週目 右足



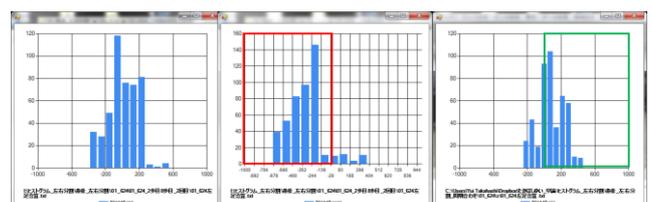
X 軸 Y 軸 Z 軸

図 12:患者 A 1 週目 左足



X 軸 Y 軸 Z 軸

図 13:患者 A 2 週目 左足



X 軸 Y 軸 Z 軸

図 14:患者 A 3 週目 左足



図 15:患者 B の様子(2 週目)



図 16:患者 B の様子(3 週目)

3.4. 考察

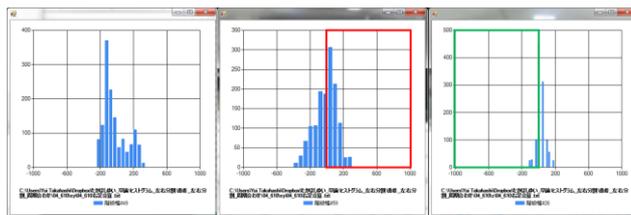
実験より自立歩行をしている患者に対して、Y 軸からは映像、ヒストグラムの両方から印象の変化を捉えることができた。X 軸、Z 軸からは映像から印象の変化は捉えられなかったものの、ヒストグラムの変化は捉えることができた。しかし、一部定性評価とヒストグラムの評価が一致していない部分があった。その原因として、自立歩行ができていない患者は理学療法士に動きを支えられたり、動きに勢いをつけるようにアシストをしたりしていた。その結果、受動的な骨盤の動きになってしまったためだと考えられ、本手法は自立歩行ができていない患者の分析に有効であることを示唆している可能性がある。

4. おわりに

本稿では歩行動作の印象の変化を客観的に提示する方法を検討した。本研究では、骨盤の挙動に着目して実験を行った。実験において歩行全体における動作の特徴を検証し、角速度のヒストグラムの分布に、姿勢の違いによる歩き方の違いが表れることが分かった。本稿では、Y 軸 Z 軸に焦点を当てて検証を行ったが、X 軸にも何らかの関係があると考え、今後調査する必要がある。

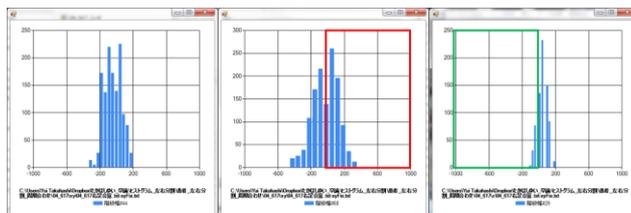
参考文献

- [1] 中村範斗,松田浩一,"歩行リハビリ支援のための腰部に着目した変化の定量化",情報処理学会,第 73 回全国大会,6ZE-3,2011.
- [2] 荒井克仁,松田浩一,"歩行のテンポに着目した角速度による歩行の安心度測定法",人工知能学会,身体知研究会,第 21 回研究会,SKL-21-02, pp.7-11,2015.
- [3] "Gehen verstehen," 観察による歩行分析", 医学書院, pp.35-37, 2005.



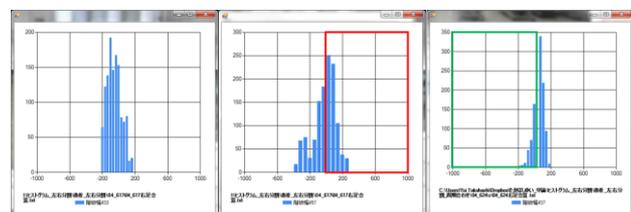
X 軸 Y 軸 Z 軸

図 17:患者 B 1 週目 右足



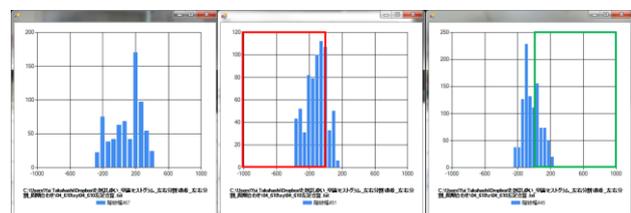
X 軸 Y 軸 Z 軸

図 18:患者 B 2 週目 右足



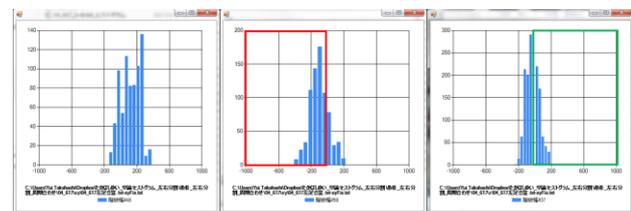
X 軸 Y 軸 Z 軸

図 19:患者 B 3 週目 右足



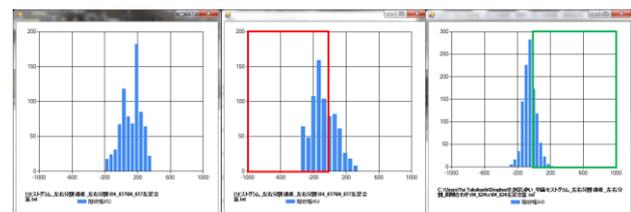
X 軸 Y 軸 Z 軸

図 20:患者 B 1 週目 左足



X 軸 Y 軸 Z 軸

図 21:患者 B 2 週目 左足



X 軸 Y 軸 Z 軸

図 22:患者 B 3 週目 左足