

ウェアラブル歩行特徴分析センサに関する研究 A Wearable Gait Analysis System using Inertial Motion Sensors

細井 悠貴†
Haruki Hosoi

松下 宗一郎‡
Soichiro Matsushita

1. はじめに

現在の歩行研究は様々な分野で行われている。特にリハビリなどの臨床分野では多くの研究がなされており、使用される計測器具は多岐にわたる[1][2][3]。例えば歩行研究ではトレッドミルや床反力計などの大規模な計測器具を用いるものから、スマートフォンなどに取り付けられた運動センサを使った小規模な計測器具を用いるものまである。一般的に大規模な計測器具は取得できる歩行パラメータの種類が多い。一方、小規模な計測器具は、取得できるパラメータ数は前者に及ばない[2]。しかし、最近の運動センサの性能向上や携帯電話等へのセンサ搭載により、場所を選ばない手軽さから小規模な計測器具が注目されている。そこで本研究においても日常生活での利用を意識した歩行分析を行っており、一台の加速度センサのみを用いたシンプルかつ常時利用可能な「がに股」度改善システムを目指している。そして、これまでに、加速度センサを靴の甲に取り付け、歩行中の進行横方向加速度データの推移と DFT 処理の結果から「がに股」度合いを定量化できる可能性を見出している。

「がに股」歩きは関節炎の原因となる可能性があるため治したいと思う人は多い。そして現在では「がに股」歩きに対して筋電計でその度合いを調べる手法が報告されている[4]。ここで「がに股」歩きを治すには常時「がに股」歩きにならないように意識する必要があるが、筋電計は常時利用には向いていない。このため、小型運動センサなど常時利用可能なものを用いる必要があるが、小型運動センサのデータは、取り付け位置による信号の変化や振動によるノイズ等のため、必ずしも信頼できるものではない。そこで本研究では臨床歩行研究において幅広い歩行パラメータを高い精度で計測可能な 3 次元動作分析装置を加速度センサの直近に取り付け、両者のデータを比較することで、運動計測の信頼性を確認している。そして、「がに股」歩きの度合いを数値化するパラメータとして、加速度が有効であることを示していく。

2. 複合歩行計測システム

本研究では小型運動センサとして広く普及している加速度センサに加え、ジャイロセンサが同じチップ上に集積されている 6 軸運動センサ AH-6100LR (Epson Toyocom 社) を用いたシステムを新たに開発した。ここで、運動センサはサンダルの甲部にネジにて取り付けを行っている。さらには、磁気式 3 次元動作解析装置の計測ヘッドを運動センサの近くに取り付け、両者での同時計測を可能としている。計測器の写真を図 1 に、また計測器および 3 次元動作解析装置の詳細を以下に示す：

†東京工科大学大学院 バイオ情報メディア研究科

‡東京工科大学 コンピュータサイエンス学部

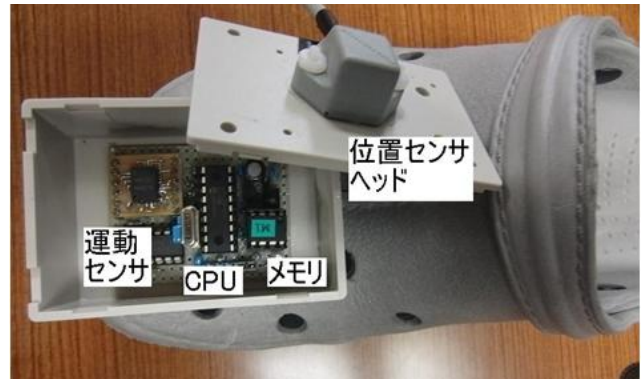


図 1 計測装置全体像

・ 6 軸歩行計測器

計測器は運動センサ、CPU、メモリの構成になっている。使用するセンサの AH-6100LR は $\pm 3G$ までの 3 軸加速度および $1000[\text{deg}/\text{sec}]$ までの 3 軸角速度が計測可能である。加速度計測範囲において、先行研究では足の甲にかかる進行方向に対する横方向の加速度は最大 $5G$ 程度となっているが、快適な速度での直進歩行という条件においては $\pm 3G$ の範囲で十分ある事がわかっている。また、計測時間は 107 秒、サンプリング周波数は 100Hz である。

・ 3 次元動作解析装置

市販の磁気式 3 次元位置センサ Liberty240 (Polhemus 社) を使用している。磁場ソースと計測用ヘッドで構成されており、ケーブルで繋がっている。計測用ヘッドはネジにて計測器ケースの上蓋に取り付けている。サンプリング周波数は 240Hz であり、ケースの蓋部に 2 つまでの計測ヘッドを取り付ける事が可能である。

3. 実験

運動センサを用いて「がに股」を判断する上で、特に足の浮いている間の進行方向に対する横軸の加速度の推移が参考になる事がわかっている[1]。一方、今回の測定条件では 3 次元動作解析装置のケーブルが靴から出ているため、歩行運動範囲に制約がある。そこでまずは、「がに股」歩行では足の運動、あるいは足の姿勢のどちらに特徴が生じるのかを確認するため、その場での足踏み実験を行った。実験では十分に広い空間にて被験者に快適なペースで足踏みを行うよう指示をした。なお実験は「がに股」歩きの被験者とそうでない被験者の 2 名にて行った。足踏み実験の一步分の横軸加速度のデータと歩行中の一步分の横軸加速度データとの比較を図 2 に示す。また「がに股」でない被験者の足踏みと歩行の横軸加速度データを図 3 に示す。

次に、歩行中の足の横方向の動きに対して「がに股」とそうでない被験者で差があるかを確認するため歩行実験を行った。実験は室内にて 5m 程度の歩行路を歩行する

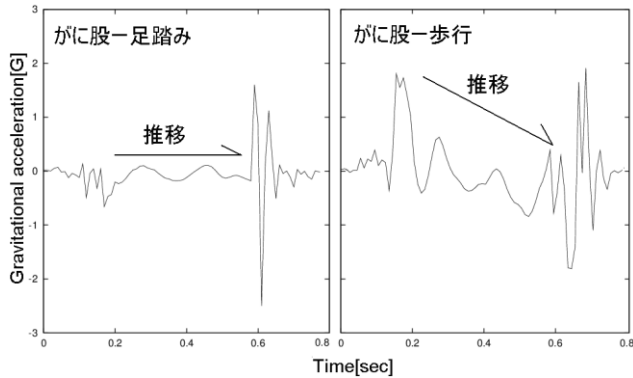


図2 がに股の被験者の場合の横軸加速度変化

もので、被験者には歩行路に引かれた直線の上に体の中心が来るように意識することを指示した。さらに、歩行路中に磁場ソースの前を通る地点があり、計測精度を向上させるため、歩行が安定するとされる4歩目以降の歩数でそれを跨ぐ様に指示した。また被験者には磁場ソースを跨いで歩けるスタート位置の調整を実験前に行った。その後、実際に歩行路を5回歩行し、1~3回目は普段どおりの歩行を行い、4回目と5回目に関しては意識して内股歩きと「がに股」歩きを行っている。なお実験の被験者は前実験と同じ2名に1名を加えた計3名で行った。

4. 結果・考察

図2より、「がに股」歩行では横方向の加速度の推移に特徴が見られるが、その場足踏みの場合には、そのような特徴を見ることができなかった。また3次元動作解析装置では絶対座標での位置移動を計測することができるが、足踏み時における横方向の足の大きな移動は検出されなかった。この結果から、加速度センサを用いて「がに股」度合いを計測するには、実際の歩行を行わないと変化が見られない可能性が高いことが分かった。また、このことは図3の「がに股でない被験者の足踏みの加速度の推移より分かるように、足踏みでの分析からは明確な差異が認められなくなることから確かめられる。

次に、「がに股」歩行とそうでない歩行に対する足の浮いている期間での横の動きにおける3次元位置変化の間に大きな差異は見られず、両歩行ともに足が浮いている期間の横の動きは10~15センチ程度であった。また空中の足の動きは、若年者と高齢者での空中の足の移動を調べた実験においても有意な差がなかったとの報告がなされている[3]。一方、高齢者は「がに股」の傾向が強いという事からも、足の横移動距離の大小が「がに股」歩行を特徴づけていない可能性が高いことが分かる。

ここで実験結果からは、歩行中の進行方向に対する横方向の加速度データは横動きを取得しているのではなく、足の甲に取り付けた加速度センサの運動方向が進行方向と一致しないため、歩行中に進行方向成分が足の甲の加速度センサの横軸に混入していることが考えられる。すなわち、図3の「がに股でない歩行の加速度において特徴的な変化が見られないのは、足が開いていないために横方向加速度が検出されにくい状態になっているためであるといえる。さらに動作解析装置より取得した足の向きを表すデータからも、足踏み中には大きな変化は見られないということもわかっている。

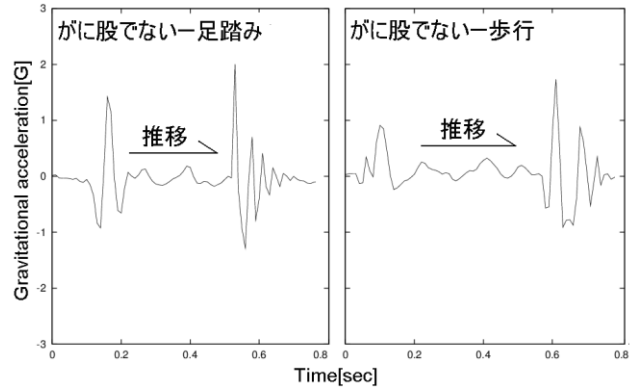


図3 がに股でない被験者の場合の横軸加速度変化

これにより加速度センサで取得できる「がに股」に対する歩行パラメータは「がに股」歩きの特徴のひとつである外股の度合いを計測している事が示唆された。これは歩行計測で定義される足向角が一番近いパラメータにあたる。さらには、3次元動作分析装置から取得できる位置情報・向き情報に対して加速度・角速度情報への変換を行い、計測器側の加速度センサおよび角速度センサのデータと比較したところ、足の接地衝撃時を除けばほぼ同じ数値が得られている。また3次元動作計測装置のヘッドを2つ付けた際の値を比較すると誤差は標準偏差で30mGであり、足の甲における運動センサの取り付け位置による加速度計側誤差はほとんど生じないことが分かった。

5. おわりに

本研究では、「がに股」歩行に対して6軸運動センサと3次元動作分析装置を用いて解析を行った。実験の結果、運動計測結果の中で、横方向への加速度は「がに股」に見られる歩行中の足の開きを計測している事が示唆され、「がに股」歩行の特徴である外股歩行検出の可能性をあらためて見出した。また計測機器の取り付けに関しても足の甲上であれば、センサの取り付け位置の変動に対してほぼ同じ計測結果が得られることが分かった。

本研究では、最終的にはリアルタイムでユーザーに「がに股」を伝え改善を目指すシステムを開発することを目指しており、今後は運動センサによって得られた歩行状況に関する情報をどのようにユーザーに「がに股」を伝えれば良いかなどを検討していく。

謝辞

本研究は科研費(22500113)の助成をうけたものである。

参考文献

- [1]細井悠貴,松下宗一郎:日常生活における特徴的歩行分析に関する研究,第73回情報処理学会全国大会,4W-7(2011)
- [2]臨床歩行分析研究会監修:「臨床歩行計測入門」,医歯薬出版株式会社,220p(2008)
- [3]長谷川淳,et al:高齢者の自由歩行における足の動きの動作学的分析,日本体育学会大会号(49),362p(1998)
- [4]R.Kaliaperumal,et al:Comparison of electromyography in normal and simulated bowleg gait,Gait & Posture, Volume 28, Supplement 2, Page S75(2008)