

歩行の安定性と効率性に基づく歩行特徴に関する基礎的検討

Basic Consideration on Walking Stability and Efficiency based on the Similarity of Velocity and Acceleration Variation

松澤 拓也^{*1}, 高橋 佑, 香山 瑞恵^{*2}, 橋本 昌巳^{*2}, 二上 貴夫^{*3}

Takuya MATSUZAWA^{*1}, Yu TAKAHASHI, Mizue KAYAMA^{*1}, Masami HASHIMOTO^{*1}, Takao FUTAGAMI^{*3}

^{*1}信州大学大学院理工学系研究科

^{*1}Graduate School of Science & Technology, Shinshu University

^{*2}信州大学工学部

^{*3}東陽テクニカ

^{*2}Faculty of Engineering, Shinshu University

^{*3}TOYO Corporation

Email: 15tm530c@shinshu-u.ac.jp

あらまし：本研究の目的は、歩行動作の解析を容易に行うための手法の提案である。そのために、まず、1台の慣性計測装置を用いた計測を対象に、歩行の安定性について評価を行うこととした。ここでは、従来着目されてこなかった歩行の効率性にも注目する。歩行の効率性は歩行速度の時間変化から求められる。本稿では、歩行分析の指標について概観した上で、健常者を対象とした歩行計測実験の結果から、安定性に加えて効率性を考慮することで、歩行の個人差や一般性を評価できる可能性を検討する。

キーワード：歩行解析、加速度変化、安定性、対称性、効率性

1. はじめに

医療やリハビリテーションの場において歩行支援のための動作解析が行われている。歩行動作の解析にはビデオカメラ、レーザ、フォースプレート、加速度センサなどを用いる手法がみられる⁽¹⁾⁽²⁾。例えば、小椋らは健常者若年者を対象とした歩行時の加速度の特徴パターンが同定可能かを検討している。この研究では、加速度センサ、テレメータシステム、データレコーダ、動ひずみ測定機を組み合わせ測定を行っている⁽¹⁾。しかし、これらの測定手法は複数の計測機器や計測手法を複合して利用されており、計測環境の構築が容易ではないという問題点がある。

2. 本研究の目的

本研究は、歩行動作の解析を被験者に装着した1つの慣性計測装置(IMU)のみで実現する計測手法および簡易な解析手法の提案を目的としている。これにより、被験者の歩行を妨げず、解析結果を即時に実験者へフィードバックできる環境構築を目指す。

一般に、歩行解析では「安定性」という指標が評価基準となる。ここでの安定性とは、再現性、対称性、動揺性、円滑性の4観点とされる⁽³⁾。本稿では、歩行動作の安定性について、加速度波形の類似性に基づき、対象性と再現性を評価する方法を提案する。さらに、歩行の効率性についても検討する。歩行の効率は速度波形に基づき解析する。

3. 評価方法

3.1 概要

1歩行周期とは片足の踵接地(Heel Contact: 以下、HC)から同足の次HCまでを指す⁽¹⁾。本研究では、図1に示す通り、1歩行周期内の片足のHC(図中上に凸のピーク部)からもう一方の足のHCまでを“1

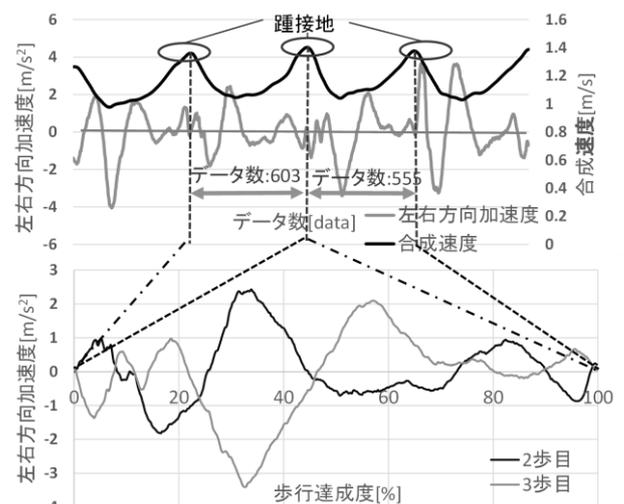


図1 加速度の正規化

歩”と考え、解析単位とする。歩行の対称性と再現性を評価する際、1歩の時間区間での2つの加速度波形の相互相関を用いる。ここでは、1歩の時間区間をパーセント歩行周期⁽¹⁾の考えに基づき正規化を行う。相互相関の値は-1から1までとなる。-1のときは時間軸に対して対称な波形となり、1のときは同一波形となる。

3.2 対称性の評価

本研究では、歩行周期における任意の1歩の加速度変化は、それに続く1歩の加速度変化に対して、左右方向では時間軸対称、上下方向と前後方向では同一であるという仮説を設ける。解析対象区間内n歩を発生順に s_1, s_2, \dots, s_n とした場合、 s_1 と s_2 、 s_2 と s_3 という連続する2歩の相互相関を求める。

3.3 再現性の評価

本研究では、解析対象区間での同一足の1歩は、

同一の加速度変化を示すという仮説を設ける。そのため、3.1 に示した n 歩に対して、奇数番目と偶数番目の集合に分けて解析する。各集合における加速度変化の平均波形を求め、集合の各要素との相互相関を求めることとする。

3.4 効率性の評価

本研究では、歩行における効率性を HC 時の速度変化として考える。解析対象区間における仕事率が 0 に近い歩行が効率性の高い歩行であると仮定する。

4. 実験方法

歩行動作の計測実験を行った。被験者は 20 代健康者 14 名である。計測場所は大学体育館とし、計測場所内に 15 m×0.45 m の矩形領域を設けた。被験者に計測装置を装着させ、靴を脱いだ状態で長手方向に歩行させた。この時、速度や歩行方法指定をせず、普段通りに歩行させた。

計測したデータを 3 章に示した指標で解析する。ここでは、解析対象区間は計測開始からの 5 歩目から 10 歩目とした。被験者によって 1 歩あたりの時間やデータ数、加速度の最大値が異なるため、正規化を行った結果を解析した。

5. 結果・考察

被験者 14 人のうち対称性と再現性について特徴のみられた 4 人（被験者 a, b, c, d）の結果から考察する。効率性は被験者 14 名の結果から考察する。

5.1 対称性

解析対象区間での連続した 2 歩について、被験者毎に 9 歩行周期分の相互相関を求め、それらから平均値を算出した。この値をその被験者の対称性の評価値とする。図 2 に各被験者の値と 14 名の平均値を

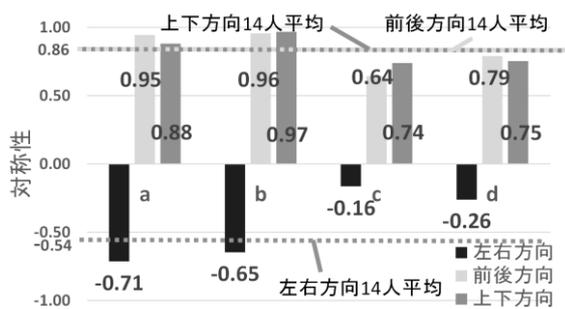


図 2 対称性

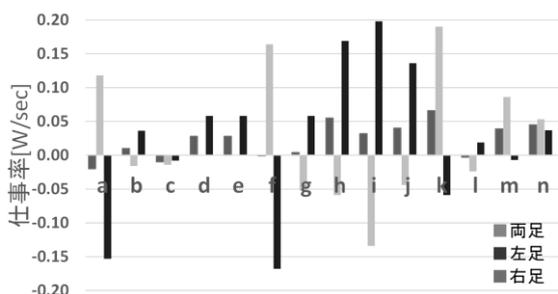


図 3 仕事率

示す。平均値は左右-0.54, 前後 0.86, 上下 0.86 となった。前後と上下では、高い相関が得られている。一方、左右の相関は高いとはいえない。被験者 a と b は 3 軸全てにおいて平均以上かつ絶対値で 0.7 以上あることから、対称性が高いといえる。被験者 c と d は 3 軸全てにおいて平均以下であり、特に左右の逆相関が約 0.2 となる。すなわち、全体として対称性が低く、特に左右方向での対称性が顕著に低い。

5.2 再現性

解析対象区間での各足 5 歩について、各足 1 歩ずつと平均波形との相互相関である 5 つの値の平均値を各被験者の再現性の評価値とする。14 名の平均値は全て 0.84 以上であり、3 軸の左右差が最大で 0.01 であることから再現性は高い。被験者 a と b は 3 軸全ての値が平均と同程度以上であり、非常に高い再現性を示した。一方被験者 c と d は、3 軸全てで平均以下であり、特に左右方向で平均値から最大で約 0.3 低い相関を示した。このことから、上下と前後の再現性は高いが左右の再現性は高くはないと考える。

5.3 効率性

解析対象区間内 10 歩の仕事率(両足)を算出する。また、この 10 歩を各足 5 歩ずつに分けてそれぞれの足の仕事率(左足, 右足)を算出した。図 3 に被験者 14 名(被験者 a から n)の各仕事率を示す。14 名の平均値は両足 0.022, 左足 0.019, 右足 0.027 となった。両足の仕事率が小さく歩行の効率性が高いのは被験者 f, g, l であり、平均値の 6 倍以上である。さらに、左足と右足の仕事率では被験者 l が最も低く、最も効率のよい歩行を行っている。効率の悪い歩行は両足の仕事率が高くさらに、左足, 右足の仕事率が高い者(例えば、高齢者)となる。

6. おわりに

本稿では、1 つの IMU を用いた解析手法の提案、基礎的検討として歩行の対称性、再現性、効率性を評価した。今後、この解析法の妥当性を検証する。

【謝辞】本研究に関わるデータの取得は、公益財団法人日本スケート連盟のニーズを分析して文部科学省マルチサポート事業研究開発プロジェクトの活動で開発された装置を使用させていただいた。ここに深謝申し上げます。また、本研究の一部は科研費挑戦的萌芽研究 24650551 による支援を受けた。

参考文献

- (1) 小椋一也, 小淵修一, 小島基永, 古名丈人, 潮見泰蔵: “通常歩行時の骨盤加速度に注目した歩行分析”, 理学療法科学, 20 (2): 171-177, 2005
- (2) 西野一郎, 緒方公介, 野見山宏, 安永雅克, 西嶋幸司, 藤原明, 山田昌登嗣: “歩行解析における加速度計の有用性”, 整形外科と災害外科, 42: (3) 1038~1040, 1993
- (3) 小田典雄, 千野直一, 山崎信寿: “マイコンを応用した簡易歩行分析”, 総合リハ, 10 (2): 245-249, 1998