

慣性計測装置における 3 次元加速度センサを用いた 歩容評価指標の妥当性に関する研究

A Study on the Validity of Gait evaluation using 3-axis accelerometer at an IMU

小島 匡顕¹ 三宅 礼華² 香山 瑞恵² 橋本 昌巳² 二上 貴夫³

Masaaki Kojima¹, Ayaka Miyake², Mizue Kayama², Masami Hashimoto², Takao Futagami³

¹ 信州大学大学院総合理工学研究科

¹ Graduate School of Science & Technology, Shinshu University

² 信州大学工学部

² Faculty of Engineering, Shinshu University

³ 東陽テクニカ

³ TOYO Corporation

Abstract: 本研究では、小型の慣性計測装置における 3 次元加速度データに基づく歩容評価指標の妥当性を検討する。通常歩行とは異なる 10 種類の歩行方法を実施し、安定性と効率性を算出した。その結果、歩行の特徴が評価値に反映され、妥当性があることが示唆された。

1 はじめに

近年、スポーツの成績向上や日常生活支援を目的とした動作解析が行われている。人や物の動きを数値化し、分析や解析を行うことで、動作の特徴などを読み取ることができる。これらの試みでは、ビデオカメラや各種センサが用いられていることが多い。競技者の位置座標が大きく変化しない競技であれば、ビデオカメラを用いた動作解析が有効であろう[1]。しかし、移動系の競技でビデオカメラを用いるためには、広範囲を高解像度で撮影する必要がある。この事例として、トレッドミルや回流水槽などの設備を用いた動作解析[2]が挙げられる。一方、ビデオカメラでの撮影が困難な場合、身体に装着可能な小型センサによる動作解析が有効であろう。動作解析に用いるセンサとしては、加速度センサ、ジャイロセンサ、圧力センサ、GPS センサなどがある。このような小型センサを用いた動作解析の事例として、歩行経路推定や平泳ぎ下肢動作、各種スポーツでの移動パターンの分析[3,4]などが行われている。

本研究では、小型慣性計測装置を用いた歩行動作

解析を対象に、これまでに解析環境構築[5,6]および歩容評価指標の開発[7,8]を行ってきた。これらの研究成果に基づき、本稿では、歩容評価指標の妥当性検証に関して述べる。

2 歩行動作計測に関する先行研究

歩行に関する動作解析の研究は、これまでに多数報告されてきている。本研究に関連する事例としては、フットセンサと 3 次元加速度センサを組み合わせさせて変位を算出し、腰軌道解析による片麻痺患者の歩行障害の特徴を評価する研究[9]や、床反力計と三次元動作解析装置（赤外線カメラ 14 台）を使用し、片麻痺患者の歩行を動的安定性と効率性の視点から分析する研究[10]などがある。特に近年は、計測場所に拘束されない小型加速度センサを用いた動作解析の報告が増加している。しかし、加速度だけでなく、速度、位置座標の変化に着目し、より汎用な評価および解析方法を提案している研究は少ない。

本研究では、これまでにスピードスケート競技を対象とした動作解析、およびそれを発展させた歩行動作解析が研究されてきた。前者においては、慣性計測装置（以下、IMU とする）を用いて滑走動作を計測し、スケートリンクなどの滑走環境データと統合することで、滑走特徴量を可視化し、競技者の内

*連絡先: 信州大学大学院総合理工学研究科

〒380-8553 長野県長野市若里 4-17-1

E-mail: 16w2026e@shinshu-u.ac.jp

省を支援するシステムが開発された[5,6]. 後者では、スピードスケート競技よりも動作制限が少ない環境下における通常歩行動作を対象にした安定性（対称性、再現性、動揺性、円滑性の4つの指標[11]）と効率性を評価する指標（歩容評価指標）が提案された[7,8]. しかし、これらの先行研究の方法には以下の問題点がある。

- I. 解析対象が通常歩行に限定されていた
- II. 歩行の安定性指標の解析能力に関する検討がなされていない

3 歩容評価指標

本章では、先行研究で提案された歩容評価指標に関して概観する。まず、歩行動作における解析単位としての1歩行周期、1歩、パーセント歩行周期の定義を示す。その上で、これらの解析単位を利用した歩行の安定性指標としての対称性、再現性、動揺性、円滑性、加えて効率性の定義と計算方法を示す。

3.1 歩行動作における解析単位の定義

ここでは、片足の踵接地(Heel Contact:以下, HC)から同足の次 HC までを1歩行周期とする。その上で、1歩行周期における左足歩と右足歩の違いを考慮するために左右の各1歩を解析単位として考える。

また、被験者によって1歩にかかる時間が異なるため、1歩の時間区間をパーセント歩行周期[12]の考えに基づき整理する。パーセント歩行周期の考えを適用し、1歩の開始を0%、終了を100%として正規化する。

3.2 対称性の評価

歩容評価における対称性とは、歩行時の左右差についての評価である。歩行周期における最初の1歩の加速度変化は、それに続くもう一方の足での1歩の加速度変化に対して、左右方向では時間軸対称、前後方向および上下方向では同一であるという仮説を設ける。対称性を評価する際は、パーセント歩行周期の考え方をを用いて、3軸方向全ての評価値を算出する。解析対象区間内の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 というように連続する2歩を対象として相互相関を求めることとする。相互相関とは、相関を求めたい2つの波形がそれぞれn点でサンプリングされたものとする。これらを波形 $1w_a = \{w_{a1}, w_{a2}, w_{a3}, \dots, w_{an}\}$ 、波形 $2w_b = \{w_{b1}, w_{b2}, w_{b3}, \dots, w_{bn}\}$ としたとき、相互相関は(1)式で表される。

$$\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_{ai} \times w_{bi}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_{ai}^2} \times \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_{bi}^2}} \quad (1)$$

3.3 再現性の評価

歩容評価における再現性とは、歩行時の周期性についての評価である。解析対象区間における同一足による1歩においては、同一の加速度変化を示すものと仮定する。3.2節に示したn歩に対して、奇数番目の1歩と偶数番目の1歩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。再現性の評価の際、対称性と同様にパーセント歩行周期の考え方をを用い、3軸全ての方向での評価値を算出する。

3.4 動揺性の評価

歩容評価における動揺性とは、歩行時の体の揺れについての評価である。本指標では、変位波形の平均値が低いほど体の揺れの少ない歩行、すなわち、動揺性の低い歩行であるとする。パーセント歩行周期の考え方に基づいた1歩区間の変位波形に対して、その区間の平均値との差分の和を動揺性の値とする。1歩区間として評価を行うのは、左右それぞれの差や左右の違いを検討するためである。評価値計算のためにまず、変位の最大値を用いて正規化を行う。次に解析対象区間内での平均値を求め、変位波形との差分を求める。差分値は絶対値で評価することとする。最後に、1歩区間における差分値の総和を求め、これを動揺性の評価値とする。動揺性は3軸方向全て算出し評価する。解析対象区間内における動揺性の値の低い歩行が安定した歩行となる。

3.5 円滑性の評価

歩容評価における円滑性とは、歩行の滑らかさを評価する指標である。歩行の1歩に要する時間(データ数)に着目した。1歩に要する時間が均等であれば、なめらかな歩行であると考えられる。歩行の円滑性を評価する際、1歩の時間に着目するため、ここでは、パーセント歩行周期の考え方は利用せず、計測データを用いて評価値を求める。解析対象区間内の1歩におけるデータ数の変動係数を円滑性の評価値とする。変動係数の値が小さいほど円滑性が高くなる。

3.6 効率性の評価

歩行動作における効率性とは、いかに力を発揮せ

表 1: 歩行カテゴリ(○: 差有/×: 差無)

カテゴリー	略称	周期性の有無					差の有無		種類数
		1歩毎	奇/偶数歩毎	1歩行周期毎	2歩行周期毎	3歩行周期毎	1歩時間	歩幅	
a	通常	○	○	○	○	○	○	○	7
b	上体反らし	○	○	○	○	○	○	○	2
c	線上	○	○	○	○	○	○	○	2
d	踏み違い	○	○	○	○	○	○	○	2
e	速度変化	×	×	×	×	×	×	○	2
f	片足歩幅変化	×	×	×	×	×	○	×	2
g	左/右 上体揺らし	×	○	○	○	○	○	○	2
h	片足引きずり	×	○	○	○	○	×	×	12
i	片足振り子	×	×	×	○	○	○	○	6
j	通常+ひねり	×	×	×	○	○	○	○	3
k	通常+膝曲げ	1周期	×	×	×	○	○	○	2
		2周期	×	×	×	×	○	○	2
		3周期	×	×	×	×	×	○	○

ずに移動できるかを示す指標であると考え。本指標では、解析対象区間における仕事率を歩行の効率性とする。動作の効率性という観点では、ランニング動作におけるランニングエコノミー (Running Economy, 走の経済性) [13]という指標が存在する。ランニングエコノミーは、ある走速度での酸素摂取量によって定義される。酸素摂取量が高ければ、より多くのエネルギーを要することを意味し、ランニングエコノミーが低いと評価される。ランニングエコノミーはランニングのパフォーマンスを評価するうえで非常に有用であると評価されてきた[14]。しかし、酸素摂取量を測定して得られる指標のため、一般人にとっては身近ではない。

本研究における歩行動作の効率性では、IMU から得られるセンサデータから速度を算出し、体重あたりの仕事率を求める。仕事率が 0 に近い歩行が効率のよい歩行であると仮定し評価を行う。

ある足の HC 時での速度を v_i 、それに続く一方の足の HC 時の速度を v_{i+1} 、その間の時間を t とした時、仕事率は(2)式で表せる。

$$\text{効率性}[W/kg] = \frac{1}{2t}(v_{i+1}^2 - v_i^2) \quad (2)$$

4 研究目的

本研究では、2章に示す問題点の解決を目指し、以下を検証することを目的とする。

I.解析対象が通常歩行に限定されていたこと、II.

歩行の安定性指標の解析能力に関する検討がなされていないことを解決するため、通常歩行に加え、歩行動作の周期性と、歩行時間、歩幅が異なる複数種類の歩行動作を計測し、3章に示した歩容評価指標を算出し、その結果を考察することで指標の妥当性を検証する。

5 歩容評価指標の妥当性

本章では、先行研究で提案された歩容評価指標の妥当性検証の方法と結果を示し、考察する。

5.1 実験方法

通常歩行とは異なる歩行を IMU で計測し、その計測データの歩容評価指標を算出する。ここでの通常歩行と異なる歩行とは、歩行動作の周期性の有無、および歩行動作における各 1 歩の歩行時間あるいは歩幅の差の有無に着目をして整理した。具体的には、周期性の有無とは、1 歩毎、奇数(または偶数)歩毎、1 歩行周期毎、2 歩行周期毎、3 歩行周期毎にまとめた。これらの観点に基づいた計 11 カテゴリーの歩行動作を表 1 に示す。各カテゴリーの歩行方法は以下の通りである。

- a.: 通常歩行
- b.: 上体を反らし、大きく腕を振りながら歩行
- c.: 狭い直線の上をゆっくりと歩行
- d.: 千鳥足のように右足と左足を踏み違う歩行
- e.: 速度を上昇させ続ける歩行や、急加速・急減速を交えた歩行



図 1: 歩行計測の様子

- f.: 片足の歩幅を変化させる歩行
- g.: 上体を左（または右）に揺らしながら歩行
- h.: 片足を引きずる歩行
- i.: 片足を曲げて出す、伸ばして出すを 1 歩毎に繰り返す歩行
- j.: 通常歩行 1 歩行周期、腰をひねって歩行 1 歩行周期を繰り返す
- k.: 通常歩行を 1 歩行周期、大きく膝を曲げて足を前に出す歩行を 1 歩行周期繰り返す

歩行の周期性を 1~3 周期と分けたのは、歩行の周期性と歩容評価指標との関係を確認するためである。また、個人差や試行差を考慮し、各カテゴリにおける歩行種類数は全て 2 以上とした。これらのデータは、20 代健常者 3 名を被験者として計測された。ただし、被験者全員が全カテゴリの歩行を行ったわけではない。

計測範囲は 15 m×0.45 m の矩形領域（ただし、カテゴリ c. 除く）とし、被験者に計測装置を着用させ、長手方向に歩行させた。計測実験中の様子はビデオカメラにより背後から撮影した（図 1）。

計測データを 3 章に示した安定性指標で解析する。左右方向が X 軸、前後方向が Y 軸、上下方向が Z 軸である。特に効率性に関しては、解析能力を向上させる検証として、各歩の効率性の平均値を算出した指標（以下、 \pm と称す）と各歩の効率性の絶対値の平均値を算出した指標（以下、 $||$ と称す）の 2 種を検討する。解析対象区間は歩行時の速度が安定する区間として、計測開始後の 5 歩目から連続する 5 歩を採用した。

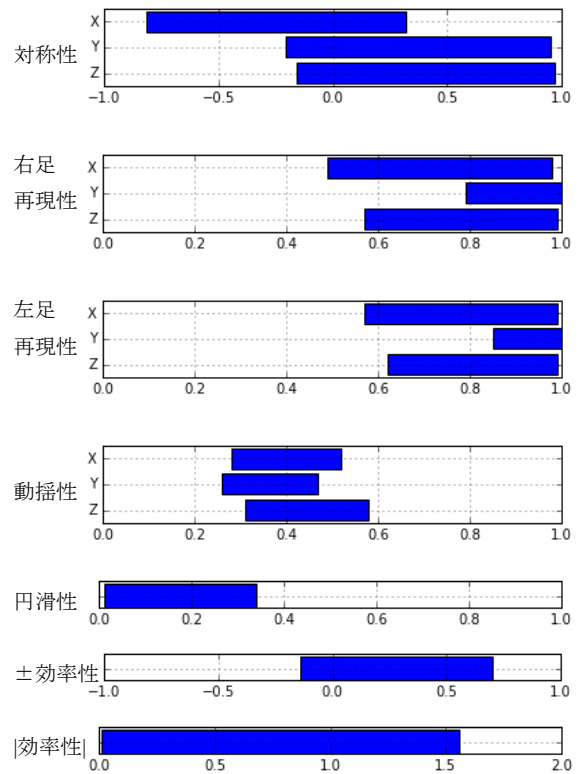


図 2: 値域

5.2 実験結果

今回の計測データにおける各歩容評価指標の値域を図 2 に示す。横軸は評価値の最大と最小を示し、色付きバーで各指標の値域を示した。

歩行データの解析結果を表 2 に示す。歩行カテゴリ毎に歩容評価指標の評価値の大きさで、3 段階（大・中・小）で分類した。各段階の閾値は各指標において今回の計測データの値域を 3 分割する点とした。濃灰項目は、カテゴリに含まれる全歩行の結果がある段階に集中したことを示す。全体の 61% がこの分類となった。薄灰項目は、カテゴリに含まれる全歩行の結果が 2 段階に集中したことを示す。全体の 32% がこの分類となった。白色項目は、カテゴリに含まれる全歩行の結果が 3 段階または、大と小の 2 段階にばらついたことを示す。全体の 7% がこの分類となった。

5.2.1 対称性

対称性の値域は X 軸[-0.82, 0.32], Y 軸[-0.21, 0.95], Z 軸[-0.16, 0.97]であった。X 軸は-1 に近いほど、連続する 2 歩の加速度波形が時間軸対称であるとされる。Y, Z 軸は+1 に近いほど、連続する 2 歩の加速度波形が同一であるとされる。通常歩行では X 軸で

表 3: 各歩行カテゴリの歩容評価指標結果 (■分布集中/■分布やや集中/□分布分散)

カテゴリ	略称	対称性			右足再現性			左足再現性			動揺性			円滑性	効率性	
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z		±	
a	通常	大	大	大	大	大	大	大	大	大	中	大	大	小	小	小
b	上体反らし	大	大	大	大	大	大	大	大	大	中	大	中	小	小	小
c	線上	小	大	中	中	大	小	中	中	中	小	大	小	小	小	小
d	踏み違い	大	大	小	中	中	中	大	中	□	中	大	大	小	中	小
e	速度変化	中	大	中	中	大	□	中	中	中	中	大	中	小	小	小
f	片足歩幅変化	中	中	中	中	中	中	中	中	中	中	大	中	小	小	小
g	左/右上体揺らし	中	大	中	大	大	大	大	大	大	中	大	大	小	小	小
h	片足引きずり	小	小	小	□	大	□	大	大	大	□	小	小	□	□	□
i	片足振り子	小	大	小	□	大	□	中	中	大	中	□	中	大	小	小
j	通常+ひねり	小	大	中	中	中	中	中	中	□	中	大	中	中	小	小
k	通常+膝曲げ	大	大	大	大	大	大	大	大	大	小	大	中	小	小	小

負値、Y軸とZ軸で正值であった。それに対して、X軸で正值であったのはc., h., i.に含まれる歩行であり、Y軸とZ軸で負値であったのはh.に含まれる歩行のみであった。これらは、対称性が低いことが示唆された。

対称性に関しては、歩行カテゴリの違いによる顕著な差が確認された。a., b., k.は同様に評価値が大きい結果となった。表2より、a.とb.は同傾向を示すことは予想される。しかし、k.はa.やb.とは異なる周期性を有する歩行である。今回の分析対象区間には、k.における通常歩行が含まれていたためこのような結果となったと考えられる。また、評価値が小さい範囲に偏ったのは、c.のX軸、h.の3軸、i.のX軸とZ軸であった。これは、左右の足の出し方の違いが影響していると考えられる。

5.2.2 再現性

再現性の値域は右足でX軸[0.49, 0.98], Y軸[0.79, 1.0], Z軸[0.57, 0.99]であった。左足ではX軸[0.57, 0.99], Y軸[0.85, 1.0], Z軸[0.62, 0.99]であった。両足ともY軸の値域は約0.8以上と大きい値が得られた。いずれの軸も1に近いほど再現性が高い歩行となる。今回の実験対象歩行は、c.を除き、すべて左右で再現性が低いものであったことが考えられる。

歩行カテゴリによる顕著な差が確認された。通常歩行においては、X軸は0.86以上、Y軸とZ軸では0.97以上の値であった。同様に、3軸で大きな値が得られたのは、b., g., k.である。b., g.は同足の歩行方法が同じであるため、妥当であると考えられる。一方、

k.に関しては、対称性と同様に、解析対象区間に通常歩行が含まれていたため、このような結果となったと考えられる。評価値が小さい範囲に偏ったのはc.の右足再現性Z軸のみであった。c.は他の歩行カテゴリに比べ、腰の位置変化が少なく、微小な動きの変動が影響したのかもしれない。再現性の結果で3段階にばらついたのは、右足再現性でe.のZ軸、h.のX軸とZ軸、i.のX軸とZ軸であった。左足再現性では、d.のZ軸、j.のZ軸であった。このうち、大と小の2段階にばらついたのは、e.のZ軸、d.のZ軸、j.のZ軸であった。試行差の影響が出やすい指標であることが考えられる。

5.2.3 動揺性

動揺性の値域はX軸[0.28, 0.52], Y軸[0.26, 0.47], Z軸[0.31, 0.58]であった。3軸とも0.4付近を中心に±0.2の範囲に集中した。各軸とも0に近いほど、動揺性が低く安定した歩行とされる。

歩行カテゴリによる顕著な差が確認された。通常歩行は、X軸で小と中の2段階に集中した。Y軸とZ軸は大きい結果だった。左右方向より、前後方向、上下方向のふらつきが大きかったことになる。一方、X軸が大きい範囲に偏ったカテゴリはなかった。これらには15m × 0.45mの計測範囲が要因の一つであると考えられる。X軸(左右方向)の幅は0.45mに対し、Y軸(前後方向)は15m、Z軸(上下方向)は自由であるからだ。また、Y軸、Z軸が小さい範囲に偏ったのは、h.だった。h.は引きずった足をもう片足にそろえるため、変位が通常歩行よりも小さい。

それに伴い、動揺性の値が低下、ふらつきの少ない歩行であったと考えられる。3段階にばらついたのは、h.のX軸、i.のY軸であった。h.は踏み出す位置が変化することのばらつき、i.は、片足を通常通り前に出すのに対し、もう片足を曲げて前に出す、伸ばして前に出すを繰り返す歩行である。その前後の繰り返し動作が、試行によってふらつきを招いたと考えられる。

5.2.4 円滑性

円滑性の値域は、[0.01, 0.34]であった。円滑性は、連続する2歩のデータ数の変動係数が小さければ評価値も小さくなり、円滑性が高いことになる。

歩行カテゴリによる顕著な差が確認された。通常歩行においては小さい結果が得られた。また、10カテゴリ中7カテゴリで通常歩行と同様に値が小さかった。一方、評価値が大きかったのはi.であった。片足が通常歩行と同様に対し、もう片足は異なる。そのため、1歩の時間間隔が異なったことが原因として考えられる。また、3段階にばらついたのはh.で、被験者個人毎の差が影響したと考えられる。

5.2.5 効率性

効率性の値域は、±では[-0.14, 0.70]、||では、[0.01, 1.56]であった。前者では、正值に偏る傾向がみられた。後者では、絶対値とすることで前者に比べて約3倍の値域幅となった。効率性に最大値はなく、0に近いほど効率的な歩行である。

歩行カテゴリによる顕著な差が確認された。通常歩行は、±と||ともに小さい結果が得られた。±では、c., f., g., i., j., k.で小さい結果、b.とd.とe.で中と小の2段階に分布していた。||では、h.を除く9カテゴリで小さい結果だった。h.の結果においては3段階にばらついた。この理由は動作の特徴というよりは、被験者個人毎の差が影響したと考えられる。

5.3 考察

本節では、5.2節に示した結果をふまえ、歩容評価指標の妥当性について考察する。

5.3.1 評価指標総体としての歩行判別力

歩行カテゴリ毎に歩容評価指標の値に偏りが確認された。具体的にはa., b., c., f., g., k.である。同時に、同一カテゴリ内に含まれる歩行で試行差がある歩行カテゴリも確認された。具体的にはd., e., h., i., j.である。具体的には、d.では左足再現性Z軸、e.では右足再現性Z軸、h.では右足再現性X軸とZ軸、動揺性のX軸、円滑性、効率性の5項目、i.では右

足再現性X軸とZ軸、動揺性Y軸の3項目、j.では左足再現性Z軸で3段階に分散していた。一方でこれらのカテゴリには、他の歩容評価指標において他カテゴリとは異なる分布を示す結果が確認されている。すなわち、今回の検証の結果、本歩容評価指標を用いることで歩行方法が評価値に反映され、動作を判別できる可能性が示唆されたと考える。特に、a.通常、b.上体反らし、k.通常+膝曲げは全体的に安定性が高かった。

5.3.2 各評価指標の歩行判別力

対称性においては、左右の足の出し方の違いが指標値に反映されることが確認できた。この評価値が小さい場合は、h.片足引きずりといった、左右差のある歩行が想定される。

再現性においては、例えばc.線上のように、低速で横幅が制限された範囲での歩行において評価値が小さくなる傾向が確認された。しかし、今回実施した歩行カテゴリの多くで再現性の評価値が比較的大きくなる結果となった。再現性の評価値が小さくなるような歩行方法を再検討し、実験を行うことが必要となる。

動揺性においては、変位の小さい歩行カテゴリほど評価値が小さくなる傾向が示唆された。ただ、値域幅が狭いので、カテゴリ間の差をより明示化するために、評価値を2倍にするなど、評価値算出方法の再検討が必要であると考えられる。

円滑性においては、a.通常歩行が最小値を示した(図3)。通常歩行は他のカテゴリと比較して、より一定の速度で歩行したことがうかがえる。他カテゴリ、特にi.片足振り子歩行では評価値が高い範囲に集中した。これは歩行動作の特徴と合わせて歩行スピードの安定性が関連していると考えられる。すなわち、1歩毎の速度を安定的に一定に保つことが困難である歩行は評価値が高くなることが予想される。この問題の解決には、例えば、歩行リズムを外部から指定した歩行実験が考えられる。

効率性においては、妥当性の有無の判断が難しい。通常歩行が最も効率的であるとした場合に、今回の評価値の結果からはh.を除くカテゴリで効率的であるという判断になってしまう。また、c.線上歩行が通常歩行よりも小さい評価値を示していた(図4、図5)。この理由としては、最高到達速度と速度分散が共に小さいことが考えられる。図6にa.通常歩行とc.線上歩行における進行方向速度比較を示す。c.の歩行速度はa.の約5分の1程度である。このことから、a.を遅い速度で行った場合に、絶対値効率性がより小さくなることが予想される。

本指標における効率性は、運動エネルギーに着目

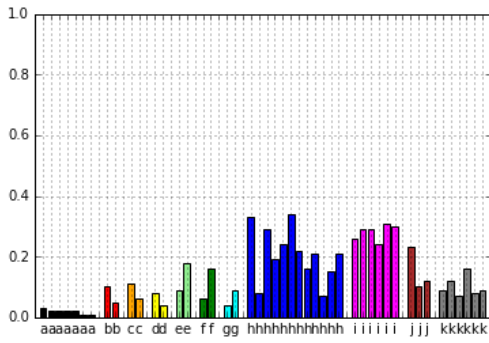


図 3: 円滑性の結果

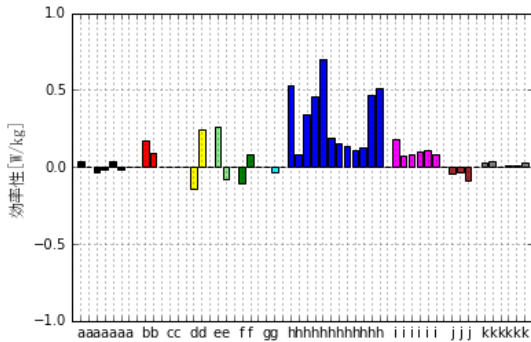


図 4: 土効率性の結果

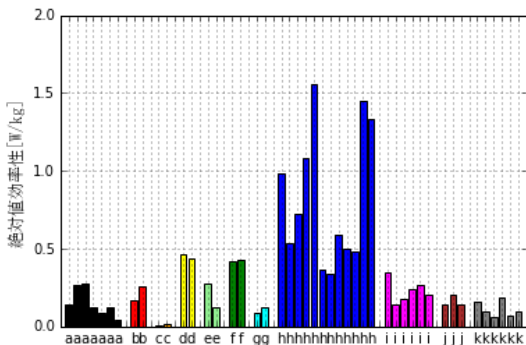


図 5: | 効率性 | の結果

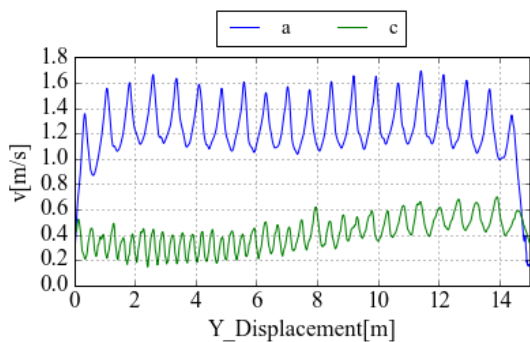


図 6: カテゴリ a と c の速度比較

して算出している。エネルギー消費の視点から歩行動作を評価する研究[15]においては、重力環境下では歩行中の重心運動を力学的エネルギーで捉え、位置エネルギーと運動エネルギーの交換率として重力の利用率を評価することができ、重力を利用するほどエネルギー消費が少ない効率性の良い歩行と考えられている。本指標においても、運動エネルギーだけでなく、位置エネルギーについても着目すれば、また異なる評価が行えるかもしれない。

いずれの歩容評価指標においても、評価値が大きい場合に安定性が高いというわけではない。例えば、対称性と再現性は絶対値が大きいほど安定性が高くなる。一方、動揺性、円滑性、効率性は値が小さいほど安定性が高くなる（動揺性ではよりふらつきが少なく、円滑性ではよりなめらかとなる。効率性では値が 0 に近いほど効率的である）。また、効率性に関しては上限が存在しない。評価結果の読み取り容易性を考慮すると、評価値の解釈を統一することが有効ではないかと考える。

5.3.3 通常歩行における試行差

通常歩行については、本評価指標を定義した先行研究においても評価がなされている。ここでは、それらと今回の実験で得られたデータを合わせて、通常歩行動作における考察を試みる。

同一歩行における試行差を調べるために、本実験で得られた通常歩行の計測データと、本実験とは異なる日時に行った成人男性 14 名の通常歩行の計測データを合わせた計 16 名 25 データを対象とした箱ひげ図を図 7 に示す。全体的に各指標 X 軸の箱の大きさが大きい、または外れ値が目立つ。対称性、再現性それぞれの X 軸の結果はばらついていて、動作との関連はみえなかった。そのため試行差が影響する指標であることが示唆された。

一方、Y、Z 軸は分布が集中している。通常歩行においては、評価値が図 7 に示す値域におさまることが示唆されたといえる。ここでの地域と図 2 の値域を比較すると、通常歩行とは異なる歩行方法を行ったことで、各評価指標の取り得る値域幅が大きくなったことが確認できた。対称性においては、X 軸で正の値をとる場合があること、Y、Z 軸では負の値をとる場合があることがわかった。再現性においては、Y、Z 軸では 0.8 以下の値を取り得ることがわかった。円滑性においては、0.1 以上の値、土効率性では 0.2 以上の値をそれぞれ取り得ることがわかった。また、動揺性 Y、Z 軸においては、通常歩行結果の最大値が大きい。通常歩行が動揺性の低い動作ではないことが示唆された。

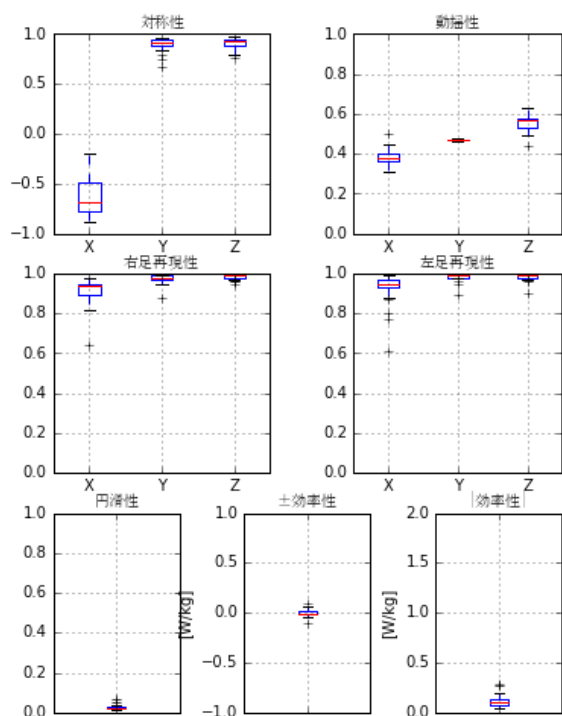


図 7: 通常歩行の箱ひげ図

6 まとめ

本研究の目的は以下に示す 2 つの課題を解決するための歩容評価指標の妥当性を検証することである。

- I. 解析対象が通常歩行に限定されていたこと
- II. 歩容評価指標の解析能力に関する検討がなされていないこと

その結果、歩行動作の歩容評価指標を算出することで、歩行方法が評価値に反映され、動作を判別できる可能性が示唆された。ただし、効率性においては評価が難しいといえる。

今後は、再現性の低い歩行動作計測、動揺性指標の再検討、外部要因による速度を指定した歩行動作計測、効率性評価指標の再検討を進めていく。また、歩行動作を定量的に評価できるという点において本指標は可能性を秘めているといえる。最終的には、一般人の生活に身近な計測システムを視野に入れ、本指標の汎用性を高めていきたい。

参考文献

- [1] 田房友典, 横田臣博, 石川聖二: 多視点カメラを用いたチームスポーツの三次元解析法, バイオメディカ・ファジィ・システム学会誌, vol. 10, No. 1, pp. 65-72, (2002)
- [2] 三輪飛寛, 市川浩, 松内一雄, 榊原潤, 高木英樹: 水

泳スカーリング動作時の泳者手部周りの流れ場の可視化 (FD 水泳), ジョイント・シンポジウム講演論文集 2009, pp. 208-213, (2009)

- [3] 佐川貢一, 小岩研, 煤孫光俊, 猪岡光: 加速度積分による屋内での 3 次元歩行経路の推定, 医療情報学, No. 22, pp. 65-72, (2002)
- [4] 角川隆明, 武田剛, 椿本昇三: 足部の圧力分布測定による平泳ぎ下肢動作の考察, 水泳水中運動科学, vol. 13, No. 1, pp. 22-28, (2010)
- [5] 高橋佑, 香山瑞恵, 橋本昌巳, 大谷真, 河合季信, 二上貴夫: スピードスケート滑走における滑走速度の特徴に関する考察, 人工知能学会 SIG-KST-2014-01-03, pp. 1-6, (2014)
- [6] 高橋佑: スピードスケートにおける動作解析と滑走速度に基づく特徴量を用いた内省支援のための環境構築に関する研究, 信州大学大学院理工学系研究科平成 26 年度修士学位論文, (2015)
- [7] 松澤拓也, 香山瑞恵, 橋本昌巳, 二上貴夫: 3 次元加速度センサの計測結果に基づく歩行特徴に関する基礎的検討, 信学技報, ET2015-66, pp. 41-46, (2015)
- [8] 松澤拓也: 3 次元加速度からみる腰部変化に基づく歩行特徴量と簡易可視化ツールの提案, 信州大学大学院理工学系研究科平成 28 年度修士学位論文, (2017)
- [9] 西辰徳, 松村さつき, 和田義明, 三宅美博: 腰軌道解析による片麻痺歩行の定量化とパターン分類の試み, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009, pp. 647-652, (2009)
- [10] 長田悠路, 瀧雅子: 片麻痺患者が非麻痺側から歩き始めた場合と麻痺側から歩き始めた場合の動的バランスの違い, 理学療法科学, vol. 30, No. 1, pp. 41-45, (2015)
- [11] 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), pp. 245-249, (1998)
- [12] 小椋一也, 大瀧修一, 小島基永, 古名丈人, 潮見泰藏: 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, vol. 20, No. 2, pp. 171-177, (2005)
- [13] Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA: Factors affecting running economy in trained distance runners., Sports Med., 34(7), 465-85, (2004)
- [14] 榎本靖士: 長距離選手のランニングエコノミーに影響を及ぼす体力および技術的要因の検討, 筑波大学体育学紀要, 36, pp. 137-140, (2013)
- [15] 大田瑞穂, 長田悠路, 田邊紗織, 瀧雅子: 脳損傷後片麻痺歩行における歩行周期別力学的エネルギー変換率と運動機能との関連性, 第 49 回日本理学療法学会大会, Vol. 41, No. 2, (2014)