

【原著論文】

## レーザードップラー方式距離計測装置によって得られた歩行運動の移動距離と速度の正確性及び妥当性

高橋流星<sup>1)</sup>, 小川幸三<sup>1)</sup>, 船渡和男<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 運動方法 (ソフト・野球) 研究室, <sup>2)</sup> 大学院トレーニング科学系

### Accuracy and validity on distance and speed measured by Laser Doppler Device

Subaru TAKAHASHI, Kozo OGAWA and Kazuo FUNATO

**Abstract:** The purposes of this study were to examine accuracy and validity of walking distance and the speed by using Laser Doppler Device (Laveg).

[Method] This study consisted of two experiments; 1) Accuracy of measurement on distance.: The correlation between distance obtained in Laveg and actual known distance was examined. The measurement error (% difference) of distance values was used for the analysis. 2) Validity on speed during normal walking measured on nine normal adult females (41.5±12.6 yr 159.3±5.7 cm 57.5±14.7 kg). Walking movements were captured using three dimension operation analysis by the optical motion capture system (Vicon Motion Sysyem 612, Vicon Motion Sysyem) together with Laveg. Subjects walked at four different constant velocity on the walkway. The correlation coefficient with the speed curve of the body center of gravity that had been obtained from the speed curve and Vicon obtained from Laveg was compared.

[Results] 1) Distance measured by Laveg was not significantly different compared with actual value ( $r=0.99$   $p<0.001$ ), and % differences between those were within 0.03%. 2) The correlation of the speed curve of Laveg smoothed by 3 Hz in testee of the whole and the speed curve of Vicon usually walked ( $r=0.51$   $p<0.001$ ), walked slowly ( $r=0.70$   $p<0.001$ ), and a significant correlation was shown in a different respectively of fast walking ( $r=0.48$   $p<0.001$ ) and one's fastest walking velocity ( $r=0.67$   $p<0.001$ ) walking.

[Discussion] About the distance value, in the value of Laveg and measurements measured in majority, a high correlation was seen in each measurement distance and because ( $r=0.99$   $p<0.001$ ) and the measurement deflection were 0.03%, the accuracy of the distance measured with Laveg was suggested. The time of Laveg at the speed at the moment in the walking one cycle significant correlation was shown in the the difference and constant walking speed respectively when the speed curve that smoothed the distant relationship by 3 Hz was compared with the speed curve of Vicon, and the validity of the speed curve was suggested.

(Received: September 6, 2010 Accepted September 24, 2010)

**Key words:** Laser Doppler Device, walking speed, a new evaluating method

キーワード：レーザードップラー方式距離計測装置, 歩行速度, 評価方法

#### 1. はじめに

ヒトの歩および走運動は、一般に先天的に獲得される系統発生的な運動であり、日常生活を営むための基本的動作である。文部科学省の新体力測定には、歩および走運動の評価が成長段階ごとに組み込まれており、6～19歳では50m走、20～64歳は急歩（男子1500m, 女子1000m）、65～79歳では10m障害歩行

テスト、または6分間歩行テストなどが定められている<sup>6)</sup>。これらの歩および走運動の評価方法は、移動した距離または、ある一定距離の移動に要した時間などによって評価されてきた。これらの評価因子の1つに移動速度が上げられ、これまで多くの研究者達によってその計測や分析がされてきた<sup>1-5,8)</sup>。

最初に行われた歩行運動の測定では、ヒトの運動動

作をフィルムに記録する方法が用いられ、写真術の進歩に伴って、素早い動作が記録できるようになった。Muybridge は、ヒトが行い得るあらゆる動作を記録し、最後には高速フィルム撮影法を開発したと記載されている<sup>15)</sup>。

歩行速度＝歩幅×歩調である。加齢に伴う歩行速度に関する研究についても数多くなされてきている。Himann ら<sup>7)</sup>は、除脂肪体重の減少、速筋線維の萎縮、小脳および運動単位の機能低下、関節液の減少ならびに柔軟性の低下などが起因であると示唆し、Lord ら<sup>20)</sup>は、膝伸展筋力と通常歩行速度との間に相関のあったことを示し、加齢に伴う歩行速度の低下に影響を与える主要因としては、下肢筋力の低下を挙げている。また、Sato ら<sup>19)</sup>はビデオカメラを用いた分析法から、年齢が高くなるに従って歩行速度や歩幅が低下することを報告している。さらに、田井中ら<sup>21)</sup>の研究では、加齢に伴う下肢筋力の衰弱と神経系の機能低下が歩行動作時の歩行速度低下および筋力発揮にも影響を及ぼすことを示唆している。

これらの歩行運動の計測は、一般にビデオカメラ<sup>23)</sup>を用いた方法や、ハイスピードカメラを用いた測定法<sup>24)</sup>が主流であり、床反力板などと同期して歩行の経時変化を調査し、報告している。加えて、歩行運動を評価するために、靴のつま先とかかとに超音波発音器と受音器を埋め込み、その所要時間と距離を算出し、歩行運動中の歩幅を計測している<sup>10)</sup>。また、トレッドミルを使用した歩行分析<sup>18)</sup>や、歩行運動と静的・動的バランス機能との関係<sup>9)</sup>など、時を隔てて今も尚、多くの見地から測定および分析の試みがなされている。

近年ではレーザードップラー方式距離計測装置(LDM 300C SPORT: JENOPTIK 社製: 以下 Laveg)を用いた測定方法が汎用されてきた<sup>1,11-14,16,17)</sup>。この Laveg は、大変簡単に瞬時速度を計測することができ、測定後即座に時間-距離関係のグラフや、時間-速度関係のグラフなどをみることが出来る。また、最大速度や、最大速度到達距離などの計測が可能である<sup>1,13,14)</sup>。しかし、Laveg にて計測される距離や、距離と時間から算出して得られる瞬時速度の妥当性に関する研究はない。

## 2. 目 的

本研究の目的は、Laveg をヒトの歩行運動に活用するために、本計測装置から得られる距離および速度の正確性や妥当性の検討をすることとし以下の2点とした。

1. Laveg にて計測される距離の値と既知の距離の値とを比較し、測定偏差を求め、Laveg にて計測される距離の正確性<sup>注1)</sup>を検討すること。

2. 動作分析からの身体重心の速度曲線と Laveg から得た速度曲線を比較することにより速度曲線の妥当性<sup>注2)</sup>を検討すること。

## 3. 方 法

### 1) 測定装置のシステム構成

Laveg は、1996年にドイツで開発された装置であり、元々は自動車のスピード違反を計測するものであった計測器を改良して開発された。現在では、世界陸上などにも使用され始め、選手のトレーニングやコーチの指導のための重要なデータとして使用されている。

この測定装置は、ドップラー効果を用いレーザー光が反射してくる時間をもとに距離の算出が可能とされている(図1)。

Laveg での距離の算出は、0.5 m ~ 400 m までとされており、測定誤差は7 cm とされている。計測時間は、59.4 秒とされておりそれ以上は計測が不可能であり、速度は、0 ~ 70 m/s まで計測が可能である。また、レーザー光は晴天の場合、光が反射してしまう可能性があり、曇天が一番好ましいとされている。レーザー光が反射しやすいものは、反射板や白いものであり、黒いものは、レーザー光が反射しにくいとされている。図2は、Laveg から得られる基本的な時間-距離関係のグラフである。

### 2) 方法1(測定距離の正確性)

#### (1) 対象及び実験設定

測定の対象物は、陸上競技で使用されるハードル(NISHI 社製)を使用した。ハードルの高さは、99.1 cm の高さに設定し、設置した場所は、Laveg のレンズから15 m, 25 m, 35 m, 45 m, 55 m, 65 m, 115 m の計7箇所をメジャーで計測し、各測定箇所にハードルを設置した。Laveg は三脚で動かないように固定し、地面から1 m の高さに設定した。また、動作確認を行うとともに、レーザー光が対象物に当たっているか確認した。

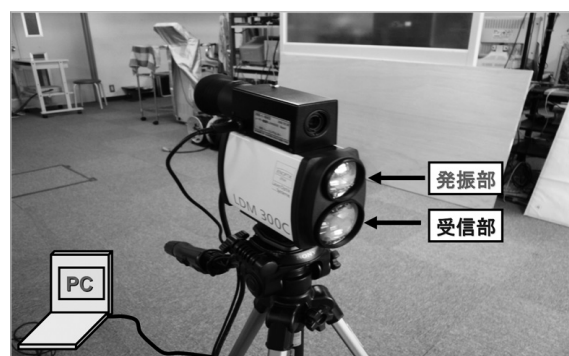


図1 Laveg のレーザー光の発振部および受信部

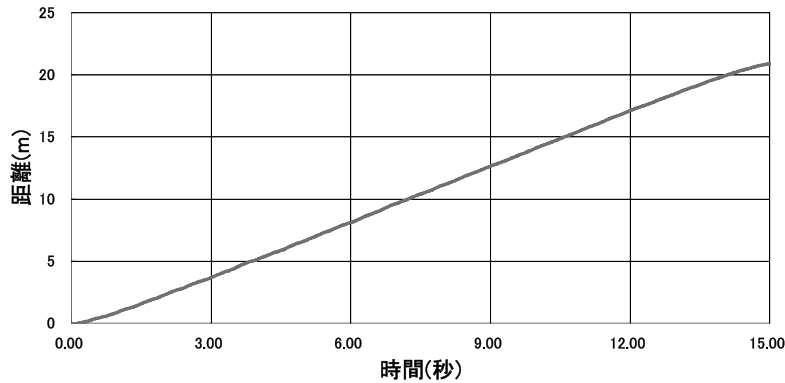


図2 Laveg から得られた歩行動作中の時間-距離関係

(2) 測定手順及びデータ処理及び統計処理

測定手順は、Laveg から最も近い距離から順に1箇所ずつ計測し、計測後即座に測定ミスやノイズなどがないか確認した。データ処理は、Laveg から得られる距離データを、Microsoft Excel 上に取り込み、得たそれぞれの対象物までの距離とメジャーで計測した距離との相関関係をみた。また、Laveg とメジャーの計測から得られた2つの距離値について測定偏差(%difference:以下 %diff.)を求めた。%diff.の算出式は以下の通りである。

$$\%diff. = (\text{real} - \text{measured}) / \text{real} \times 100$$

real はメジャーで計測した既知の値、measured はLaveg から得られた計測値とした。

3) 方法2 (歩行の瞬時速度の妥当性)

(1) 被験者

被験者は、一般成人女性9名とした。それぞれの被験者の身体的特徴は表1で示した。

(2) 実験設定

歩行運動の計測方法として多く活用されている光学

表1 被験者の身体的特徴 (平均値±標準偏差)

	人数	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
一般女性	9	41.5 ± 12.6	159.3 ± 5.7	57.5 ± 14.7

式モーションキャプチャーシステム (Oxford Metrics 社製以下: Vicon) による3次元動作分析とLavegを併用して、歩行運動を計測した(図3)。Viconは、図4で示したように、被験者は全身タイトの衣服を着て計測を行った。また、メガネ、腕時計、ネックレスなどのガラスや貴金属類は余計な反射が生じる為、外すように指示をした。

被験者の衣服の上に再帰反射マーカを用いて解剖学に基づいたランドマークを貼り付けた。部位は、左右前頭骨部点、左右後頭骨部点、頸切痕点、剣状突起点、第7頸椎点、第10胸椎点、左右肩峰点、左右上腕骨外側上顆点、左右尺骨茎状突起点、左右橈骨茎状突起点、左右第3中手骨頭、左右上前腸骨棘、左右上後腸骨棘、左右大腿骨外側上顆点、左右踵骨、左右外果点、左右第2中足骨頭、の計36点である。

Lavegは三脚で固定し、パンニングができるように設定した。設定場所は、歩行開始地点から前方約12m離れた地点に設置し、地上からの高さは、被験者の腰付近である1mに設置した。

(3) 測定手順

図3で示したように、被験者は前方方向に向かって各々の日常の歩行ペース(通常歩行)、日常よりもやや遅い歩行ペース(ゆっくり歩行)、日常の歩行ペースよりも速い歩行ペース(速い歩行)、被験者自身の最大努力の歩行ペース(全力歩行)の順番で2試行ずつ行い計測を行った。歩行距離は、7.2mであり分析区間は、

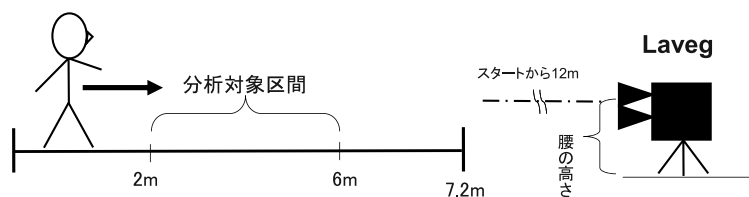


図3 歩行速度分析のための実験設定



図4 三次元動作分析システム (Vicon) による身体重心算出のための身体各部に貼付したランドマーク

Vicon のカメラが認識する区間 (スタートから約 2 ~ 6 m) を対象とした。また、ストップウォッチとカウンターを用い、歩行タイムと総歩数を計測した。

(4) 速度データの算出

Laveg から得られた距離データに 3 Hz のローパスフィルタ (チェビチエフ方式) をかけ、平滑化した。3 Hz のローパスフィルタをかけた理由は、Laveg から得られる速度曲線にはノイズが激しく速度を読み取る

ことができないからである (図 5)。また、被験者の歩行タイムと総歩数を測定した結果、どの歩行においても 3 Hz 以下の周波数成分で歩行を行っていた。そのため 3 Hz のローパスフィルタをかけ、その値を時間微分し速度データに変換した。また、参考に 1 Hz 及び 10 Hz のローパスフィルタをかけ平滑化を試みた。

Vicon では、12 台の Vicon カメラから得られた三次元座標値が自動的にパーソナルコンピュータに取り込まれ、身体重心の座標位置は Winter<sup>22)</sup> のリンクセグメントモデルにより計算した。解析対象区間は Vicon のカメラが認識する区間にした。歩行速度の算出は、被験者の進行方向を Y 座標とし Y 座標の位置変化とその変化分の時間を微分処理し速度に変換した。

(5) 統計処理

統計処理は、Microsoft Excel 上で、Laveg から得た速度曲線と Vicon から得た身体重心の速度曲線を比較するため、Laveg から得られるデータ数 (100 Hz) と Vicon から得られるデータ数 (120 Hz) を合わせ、それぞれ 20 Hz ずつのデータ数にカットした。そして、通常歩行、ゆっくり歩行、速い歩行、全力歩行のそれぞれの速度曲線について、Laveg から得た速度曲線と Vicon から得られた身体重心の速度曲線との相関係数を算出した。

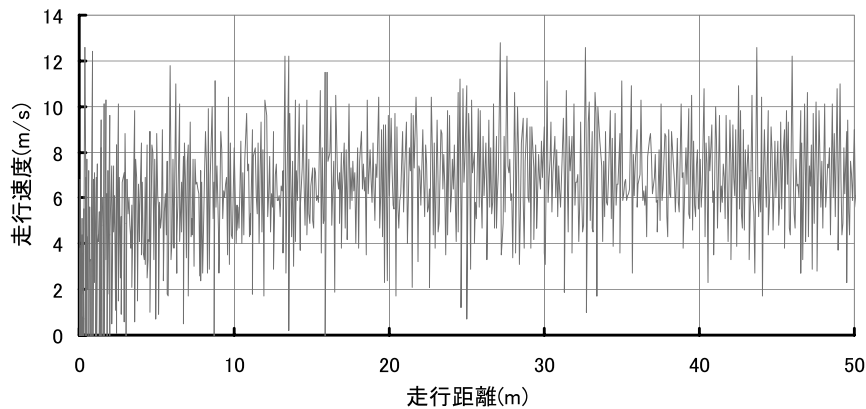


図5 50 m 走における Laveg から得られる瞬時速度曲線 (フィルターなし)

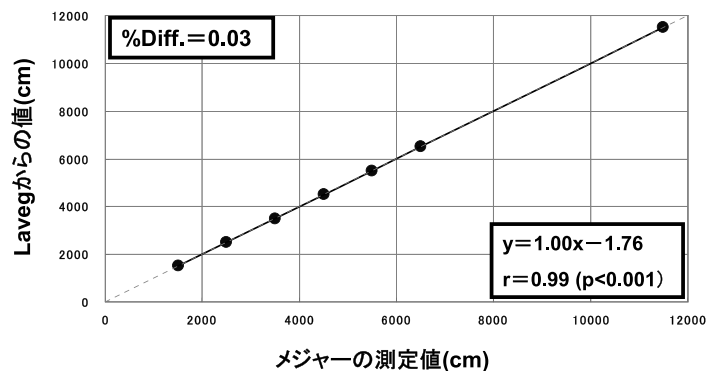


図6 Laveg とメジャーの測定値の相関関係及び測定偏差

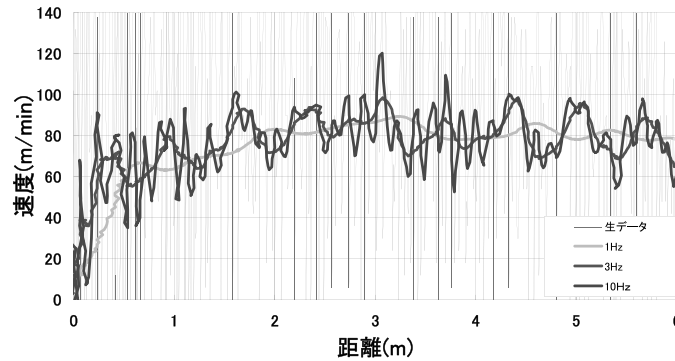


図7 通常歩行における Laveg から得た速度曲線の生データ及び各遮断周波数にて平滑化した速度曲線

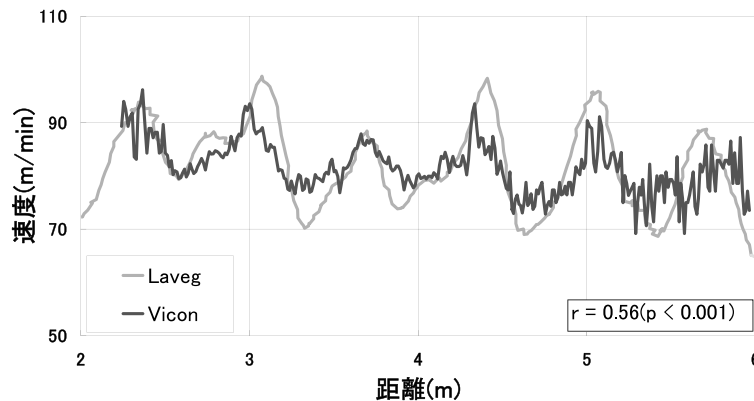


図8 同一通常歩行で Laveg と Vicon から求めた速度曲線の比較 (n=55)

#### 4. 結果

##### 1) 結果 1 (距離の正確性)

Laveg から得られた距離の正確性に関しては、Laveg で得た距離の値とメジャーを用いて計測した既知の値には高い相関関係が認められ、測定値の回帰係数は、 $y=1.00x-1.76$  ( $r=0.99$   $p<0.001$ ) であった。測定偏差は、0.03% (図6) であった。

##### 2) 結果 2 (瞬時速度の妥当性)

図7は、通常歩行における Laveg の時間-距離関係を各遮断周波数にて平滑化し、微分処理を行い速度曲線にしたものである。なお、図中には平滑化を行っていない生データ、1 Hz、3 Hz、10 Hz にて平滑化したものを示した。

図8は、通常歩行の速度曲線における Laveg と Vicon から得た身体重心の比較である。3 Hz で平滑化した速度曲線 Vicon の速度曲線の相関係数をみてみると、 $r=0.560$  ( $p<0.001$ ) で有意な相関関係が示された。

1 Hz で平滑化した Laveg の速度曲線と Vicon から得た身体重心の速度曲線には有意な相関関係がみられなかった ( $r=0.02$ )。そして、10 Hz で平滑化した速度曲線と Vicon と速度曲線には相関関係 ( $r=0.35$   $p<0.05$ )

が認められた。(図9)。

全体の被験者における、3 Hz で平滑化した Laveg の速度曲線と Vicon の速度曲線の相関関係は、通常歩行 ( $r=0.51$   $p<0.001$ )、ゆっくり歩行 ( $r=0.70$   $p<0.001$ )、速い歩行 ( $r=0.48$   $p<0.001$ )、全力歩行 ( $r=0.67$   $p<0.001$ ) のそれぞれ異なった歩行においても有意な相関関係が示された (図10)。

また、個々における各々の歩行試技の Laveg と Vicon の相関関係は、歩行速度が増加するに従い高い相関関係が示されなかった (表2)。

#### 5. 考察

##### 1) 考察 1 (距離の正確性)

図6の結果から、Laveg で計測される距離の正確性が示唆され、松尾ら<sup>17)</sup>によると、Laveg から計測される距離精度が非常に高いことを示し、Laveg によるラップタイムの計測は有効であることを示唆している。本研究結果も先行研究と同様に距離の測定精度は非常に高い値を示した。

##### 2) 考察 2 (瞬時速度の妥当性)

歩行1サイクル中の瞬時速度では、3 Hz で平滑化し

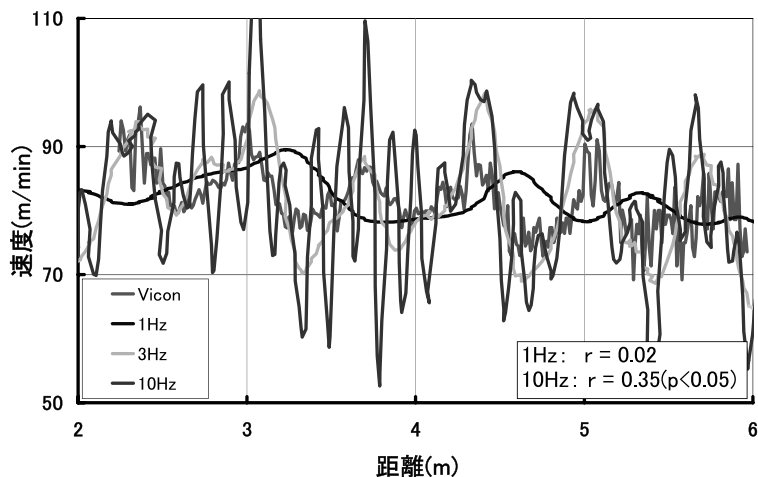


図9 同一通常歩行でLaveg (1, 3, 10 Hz) と Vicon から求めた速度曲線の比較 (n=55)

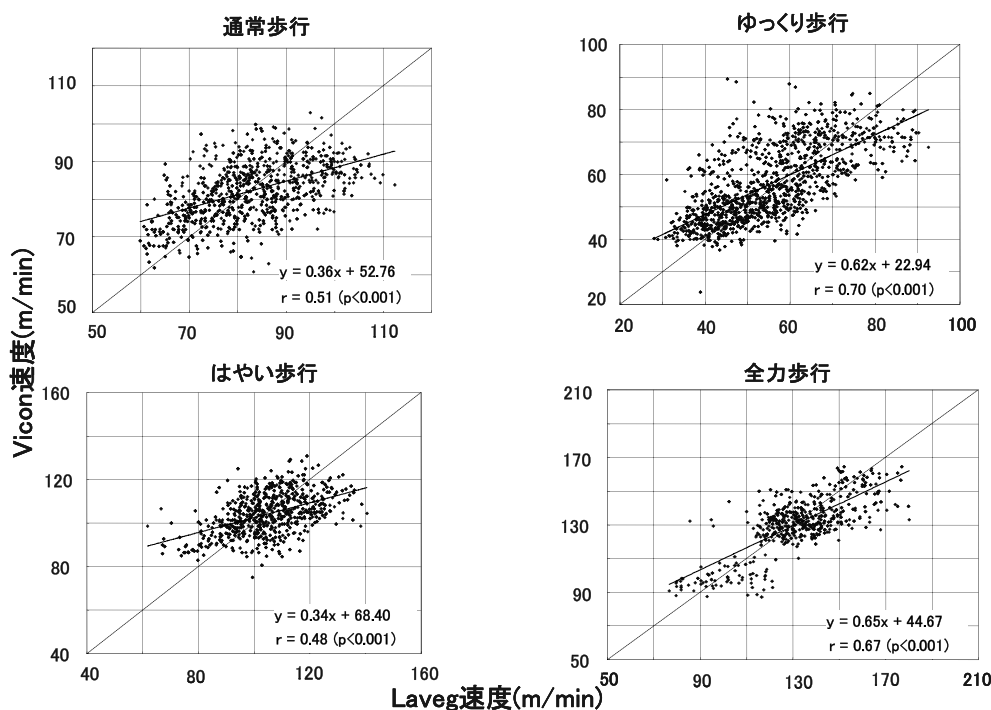


図10 各々の歩行試技の速度曲線におけるLavegとViconの相関関係

たLavegの速度曲線とViconの速度曲線を比較すると、異なる一定歩行速度内においてそれぞれ有意な相関関係(図10)を示し、これらの結果から速度曲線の妥当性が示唆された。しかしながら、個々で比較すると、歩行速度が増加するごとに伴い高い相関関係を得ることができなかった(表2)。このことから、遮断周波数の影響が大きいことが考えられる。

また、図9で示したように1Hzの遮断周波数で平滑化を行うと、加速と減速が消去されてしまい、歩幅や歩調などの詳細なデータを推定できなくなる可能性が高くなる。また、10Hzの遮断周波数にて平滑化を行うと、Viconから得た身体重心の速度曲線とは $r=0.35$

( $p<0.05$ )で相関関係があったものの、3Hzで平滑化したものと比較すると相関係数は3Hzの方が高い相関関係( $r=0.56$   $p<0.001$ )が得られた。このことから歩行運動では3Hzで平滑化することが好ましいことが考えられる。また、10Hzで平滑化すると、ノイズのようにみえる値が多く、速度曲線の触れる幅が非常に大きくなっていることがみられ、速度を正確に得ることが出来ないと考えられる。金高<sup>12)</sup>は、走運動における100mでは、0.5Hz~1Hzの遮断周波数が好ましいことを報告しているが、図9で示したように1Hzで平滑化してしまうと歩行運動における加減速が削除されてしまうことが示された。

表2 各々の歩行試技の個人における Laveg と Vicon の相関係数

A

通常	通常2回目	ゆっくり	ゆっくり2回目	速い	速い2回目	全力	全力2回目
0.60	0.54	0.66	0.70	0.51	0.62	0.67	0.45
***	***	***	***	***	***	***	**

B

通常	通常2回目	ゆっくり	ゆっくり2回目	速い	速い2回目	全力	全力2回目
0.47	0.60	0.75	0.48	0.61	0.48	0.43	0.47
***	***	***	***	***	***	**	**

C

通常	通常2回目	ゆっくり	ゆっくり2回目	速い	速い2回目	全力	全力2回目
0.62	0.42	0.51	0.39	0.51	0.51	0.41	0.19
**	***	***	***	***	***	*	

D

通常	通常2回目	ゆっくり	ゆっくり2回目	速い	速い2回目	全力	全力2回目
0.60	0.78	0.59	0.69	0.65	0.58	0.04	0.06
***	***	***	***	***	***		

E

通常	通常2回目	ゆっくり	ゆっくり2回目	速い	速い2回目	全力	全力2回目
0.47	0.56	0.66	0.62	0.56	0.53	0.37	0.23
***	***	***	***	***	***		

F

通常	通常2回目	ゆっくり	ゆっくり2回目	速い	速い2回目	全力	全力2回目
0.45	0.69	0.63		0.41	0.40	0.56	0.38
**	***	**		***	**	***	**

G

通常	通常2回目	ゆっくり	ゆっくり2回目	速い	速い2回目	全力	全力2回目
0.19	0.20	0.19	0.21	0.13	0.27	0.25	0.34

H

通常	通常2回目	ゆっくり	ゆっくり2回目	速い	速い2回目	全力	全力2回目
0.68	0.56	0.61	0.60	0.29	0.36	0.26	
***	***	***	***		*		

I

通常	通常2回目	ゆっくり	ゆっくり2回目	速い	速い2回目	全力	全力2回目
0.55	0.53	0.59	0.56	0.30	0.23	0.47	0.45
***	***	***	***		*	*	**

\*\*\*p&lt;0.001 \*\*p&lt;0.01 \*p&lt;0.05

本実験結果から考えられることは、歩行タイムとその距離に要した総歩数から、1歩当たりの歩数時間を算出することによって、個々の歩行周期を算出し、最適な遮断周波数を選択することが良いのではないかと推察する。

## 6. まとめ

- 1) 距離値については、Laveg の値とメジャーで計測した測定値には、各計測距離において高い相関係数がみられ ( $r=0.99$   $p<0.001$ )、また、測定偏差も 0.03% であったことから、Laveg で計測される距離の正確性が示唆された。

- 2) 歩行 1 サイクル中の瞬時速度では、Laveg の時間-距離関係を 3 Hz で平滑化した速度曲線と Vicon の速度曲線を比較すると、異なる一定歩行速度内においてそれぞれ有意な相関関係を示し、速度曲線の妥当性が示唆された。

付記 本研究は日本体育大学大学院体育学科研究科に提出した修士論文に、新たに文章等を加え、まとめ直したものである。

謝辞 本研究の遂行ならびに本論文をまとめるにあたり、京都府医・科大学八木先生、日本工学院専門学校鈴木三夫先生、株式会社ヴァーゴ豊水庸一氏には実験からデータの分析・討論などと貴重な示唆を頂戴いた

しました。記して厚く感謝申し上げます。

加えて、実験の際にはご多忙中にもかかわらず、快くお時間を割いてくださいました大学院の学生、友人の皆様にご心からお礼申し上げます。

## 7. 注

注 1) 正確性とは、既知の値と高い関係性を持ち、正しく確かな計測値であること。

注 2) 妥当性とは、一般的に認識されている値と高い関係性を持ち、適切な値であることと本実験では定義した。

## 8. 文 献

- 1) Arsac, L. M., Locatellil, E.: Modelling the energetics of 100m-running by using speed curves of world champions. *J. Appl. Physiol.*, 92, 1781-1788, 2002.
- 2) 尹聖鎮, 田内健二, 船渡和男, 松尾彰文: 30 m ダッシュにおける疾走速度と各種体力要因との関係. *体力科学*, 52(6), 738, 2003.
- 3) di Prampero, P. E., Fusi, S., Sepulcri, L., Morin, J. B., Belli, A., Antonutto, G.: Sprint running: a new energetic approach. *J. Exp. Bio.*, 208(Pt 14), 2809-2816, 2005.
- 4) 深代千之, 石毛勇介, 芝山明, 福永哲夫: スプリント走能力評価のためのスピード測定装置の開発. *スポーツ医・科学*, 10(1), 69-74, 1997.
- 5) Furusawa, K., Archibald, V. H., Parkinson, J. L.: The dynamics of "sprint running. *Proc. Roy. Soc. B102*, 29-42, 1927.
- 6) 平成 17 年度体力・運動能力調査報告書: 文部科学省
- 7) Himann, J.E., Cunningham, D.A., Rechnitzer, P.A., Paterson, H: Age related changes in speed of walking. *Medicine and Science in Sports and exercise*. 20(2), 161-166, 1988.
- 8) 猪飼道夫, 芝山秀太郎, 石井喜八: 疾走能力の分析—短距離走のキネシオロジー—. *体育学研究*, 7(3), 1-12, 1963.
- 9) 猪飼哲夫, 辰濃尚, 宮野佐年: 歩行能力とバランス機能の関係. *リハビリテーション医学*, 43(12), 828-833, 2006.
- 10) 加藤厚生, 鈴木郊宇: 歩行中の歩幅の測定. *愛知工業大学研究報告. B, 専門関係論文集*, 21, 7-13, 1986.
- 11) 金高宏文, 秋田真介: レーザー速度計測器とビデオカメラを利用した 100 m 疾走中の疾走速度, ピッチおよびストライド測定の実用性について. *日本スプリント学会第 10 回大会抄録集*, 56-57, 1999.

- 12) 金高宏文: レーザー速度計測器を用いた疾走速度測定におけるデータ処理の検討. *鹿屋体育大学学術研究紀要*, 22, 99-108, 1999.
- 13) 金高宏文, 秋田真介, 松田三笠, 瓜田吉久: 100 m 走における加速時のパワー発揮分析—加速時に段階的なパワー発揮はあるのか?—. *鹿屋体育大学学術研究紀要*, 26, 33-38, 2001.
- 14) 金高宏文, 松村 勲, 瓜田吉久: 100 m 走の加速区間における局面区分の検討—疾走速度, ストライド及びピッチの 1 歩毎の連続変化を手がかりにして—. *スプリント研究*, 15, 89-99, 2005.
- 15) 小林寛道: *走る科学*. 東京, 大修館出版, 1990.
- 16) 松尾彰文, 広川龍太郎, 杉田正明, 阿江通良: レーザー方式による 100 m およびハードルのスピード分析. *陸上競技研究紀要*, 3(3), 59-64, 2007.
- 17) 松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 杉田正明, 阿江通良: レーザー方式スピード測定装置による 100 m のラップタイム分析. 第 19 回日本トレーニング科学会抄録集, 47, 2007.
- 18) 岡田誠, 櫻井宏明, 鈴木由佳理, 才藤栄一, 武田斉子, 岡西哲夫, 加賀順子, 大塚圭, 寺西利生, 寺尾研二, 金田嘉清: トレッドミル歩行と平地歩行における床反力の比較. *理学療法学*, 29(6), 209-217, 2002.
- 19) Soto, H. and Ishizu, K.: Gait patterns of Japanese pedestrians. *Journal of Human Ergology*, 19, 13-22, 1990.
- 20) Stephen, R. L., David, G. L., Sek Keung, L. I.: Sensorimotor Function, Gait Patterns and Falls in Community-dwelling Women. 25, 292-299, 1996.
- 21) 田井中幸司, 青木純一郎: 高齢女性の歩行速度の低下と体力. *体力科学*, 51(2), 245-251, 2002.
- 22) Winter, D. A, Patla, A. E., Frank, J. S., Walt, S. E.: Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. *Physical Therapy*, 70(6), 340-347, 1990.
- 23) 柳川和優, 磨井祥夫, 渡部和彦: 床反力からみた高齢者における歩行動作の特徴. *体力科学*, 54, (6), 2005.
- 24) 柳川和優, 磨井祥夫, 安陪大治郎, 渡部和彦: ヒトの歩行機能の特質に関する基礎的研究—立脚時間と歩行スピードの関係—. *体力科学*, 45, (6), 1996.

### <連絡先>

著者名: 高橋流星

住 所: 東京都世田谷区深沢 7-1-1

所 属: 日本体育大学運動方法 (ソフト・野球) 研究室

E-mail アドレス: subaru-takahashi@nittai.ac.jp