

〔研究資料〕

## レーザー速度測定器を用いたスプリント走における ストライド長とピッチの推定

高橋 啓 悟\*  
磨井 祥 夫\*

The estimation of stride length and stride frequency in sprint with the  
laser velocity measuring device

Keigo TAKAHASHI

(Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University)

Sachio USUI

(Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University)

### Abstract

This study aimed to examine the accuracy of step length and frequency in sprint running obtained using a laser velocity measuring device. Ten male college sprinters participated in this study. The subjects performed 50-m sprint running. Estimated step length (ESL) and step frequency (ESF) calculated using the laser velocity measuring device were compared with the actual step length (ASL) and step frequency (ASF) using two-dimensional motion analysis.

The mean error-ratio difference between ESL and ASL was  $0.16 \pm 0.06$ , and that between ESF and ASF was  $0.18 \pm 0.14$ . The mean error-ratio difference between estimated stride (2 steps) length and actual stride length was  $0.10 \pm 0.04$ , whereas that between estimated stride frequency and actual stride frequency was  $0.12 \pm 0.11$ .

These results indicate that the estimated stride length and frequency in sprint running obtained using the laser velocity measuring device can be used for measuring stride length and frequency.

---

\* 広島大学大学院総合科学研究科

## I. 緒言

スプリント走におけるストライド長とピッチ測定には、ビデオカメラや光電管、近年ではレーザー速度測定器が使用されてきた。レーザー速度測定器は疾走する一人の選手の体幹部にレーザー光を真後ろから照射し、選手の位置を計測するものである。測定誤差は、70mで2cm以下である(Harrison et al., 2005)。また、Laveg社製専用ソフトにより測定後即座に距離-速度関係のグラフを表示させることができる。

スプリント走中の疾走速度、ストライド長及びピッチ測定における課題として、以下の3点がある。(1) 競技会での測定の制約、測定機器の有無(簡便性)。(2) 選手や指導者への即時フィードバック(即時性)。(3) 区間毎の評価(精密性)。

これまでスプリント走の疾走速度、ストライド長及びピッチ測定は、ビデオカメラや光電管を用いたり、ビデオカメラとレーザー速度測定器を併用することで測定可能であることが報告されている(阿江ら, 1994; 金高ら, 2004; Kintaka et al., 2013)。しかし、簡便性、即時性及び精密性を備えたレーザー速度測定器のみで測定可能であるかについての報告はなされていない。

そこで、本研究の目的をレーザー速度測定器だけを用了スプリント走の1歩毎および2歩毎のストライド長とピッチ測定の正確性を検討することとした。なお、正確性の検討には基準値として画像データを用いた。

## II 方法

### 1. ストライド長とピッチの定義

本研究で用いるストライド長は1歩の歩幅とし、ピッチは1歩に要した時間の逆数とした。

### 2. 被験者

被験者は陸上競技短距離選手男子大学生10名とした。被験者の100m走ベスト記録は11.62 ± 0.48秒であった。

本研究は、被験者に対して研究目的、研究方法、

研究の危険性、個人情報および研究データの取り扱いについて、書面にて説明し許可を得た上で実施した。また、広島大学総合科学研究科研究倫理委員会の承認を得た。

### 3. 試技

被験者は全天候型トラックの直走路で50m全力疾走を3試行行った。疲労を考慮して試技間に10分程度の休憩を挟んだ。1試技毎に距離-速度データを表示し、レーザー速度測定器の照射追従ミスがないかを確認した。

### 4. 実験設定

レーザー速度測定器(LDM300C-SPORT: JENOPTIK社製)は、スタートライン後方10mに設置し、サンプリング周波数を100Hzとした。疾走中の走者の背部にレーザー光が照射されるようにパンニング操作を行った。

デジタルハイスピードカメラ(EX-SC100: CASIO社製, EX-FC160S: CASIO社製)は、走路側方に8台設置した。撮影速度は毎秒240コマ、露出時間は天候に合わせて1/250-1/1000秒とした。1台は走者の接地および離地時を撮影するため足部が画角に映るようにパンニング撮影をした。7台のカメラは、ストライドを算出するために固定撮影した。DLT法による2次元座標系を構築するため、試技前にキャリブレーション撮影を行った。キャリブレーションはスタートライン後方1mからゴール方向に向かって51m地点までポールを6-8m間隔で配置し、固定カメラにて撮影した。固定カメラの画角は8-10mに設定した(図1)。

### 5. 算出方法

#### 【レーザー速度測定器】

ストライド長とピッチの算出方法は以下の手順で行った。

- (1) レーザー速度測定器から得られた距離-速度データを Butterworth digital filter(Winter

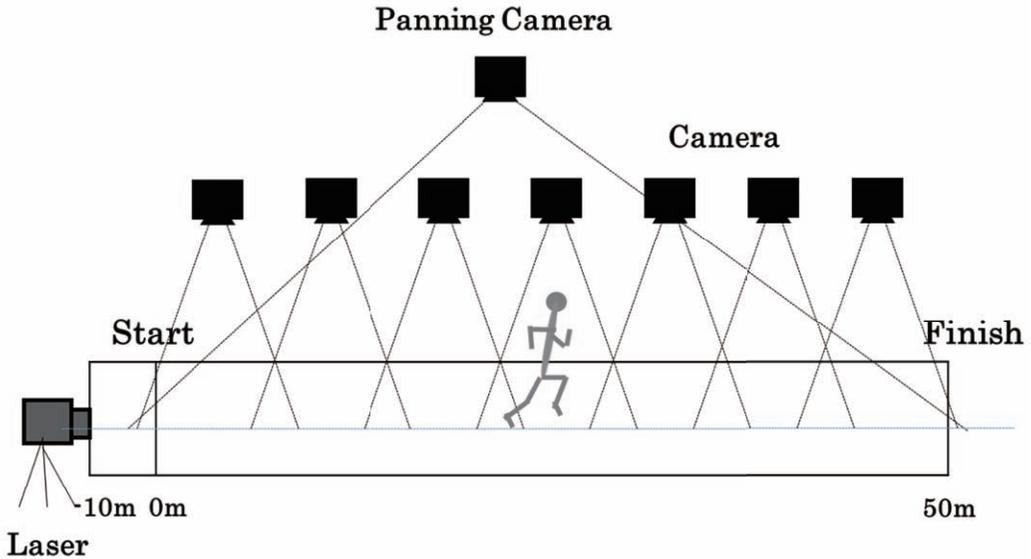


図1. 実験設定図

1990) を用いて、遮断周波数 1 Hz で平滑化する (図2)。\*

- (2) レーザー速度測定器から得られた距離-速度データを遮断周波 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5Hz で平滑化する (図3)\*\*。
- (3) (2) で得られたデータから (1) で得られたデータを減じた距離-速度曲線における 1 周期毎の極小および極大値を検出する (図4)。
- (4) 1 周期毎の極小および極大値における位置と時間から、1 歩毎のストライド長とピッチを算出する (図5)。

\* データに含まれる高周波ノイズを除去するために遮断周波数を 1 Hz とした (金高 1999)。

\*\* スプリント走のピッチを 3.5~5.5 歩/s と仮定し、遮断周波数を 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5Hz とした。

#### 【デジタルハイスピードカメラ】

ストライド長はビデオ動作解析システム (ToMoCo-VM: 東総システム社製) を用いて、2 次元 DLT 法によってつま先接地位置の座標を算出し、接地脚のつま先から対側脚のつま先接地までの距離とした。

ピッチは 1 歩に要した時間の逆数とした。

## 6. 分析方法

画像から得られたストライド長とピッチを真値とし、レーザー速度測定器から得られたストライド長とピッチとの 1 歩毎および 2 歩毎の誤差率を算出することで正確性を検討した。誤差率は、レーザー値と真値の差の絶対値を真値で除した値とした。

分析方法を画像あり条件と画像なし条件の 2 方法とした。画像あり条件は、デジタルハイスピードカメラから得られた画像データを参照し、レーザー速度測定器から得られたストライド長とピッチの誤差率が最小となるように以下の (1), (2), (3) の処理を行い、誤差率を算出した。画像なし条件は、画像データを参照せず、外れ値の数が最小となるように以下の (1), (2), (3) の処理を行い、誤差率を算出した。なお、分析対象は全被験者のデータがある 27 歩までとした。

また、画像あり条件と画像なし条件の誤差率の差を検討するために、対応のある t 検定を用いた。有意水準は 5% 未満とした。

- (1) 遮断周波数の選択 (3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5Hz)

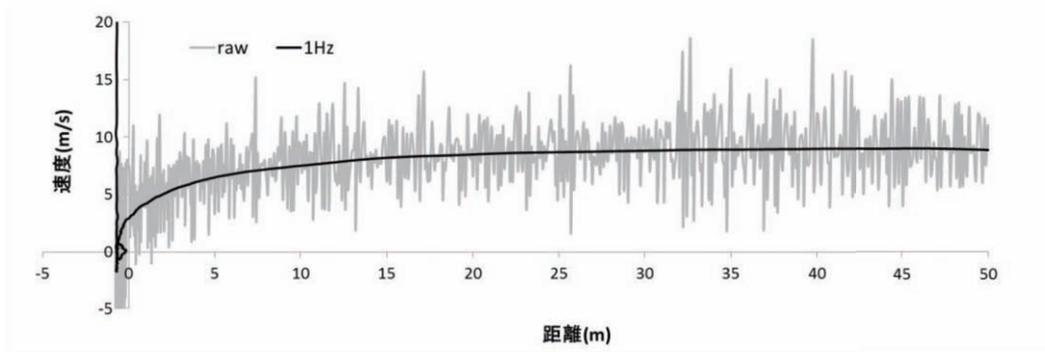


図2. raw データと1Hzで平滑化された距離-速度曲線

\* スタート時のレーザーの照射位置は走者の臀部であり、約-1m地点から測定されるので、0m地点では速度が約3m/sとなる。

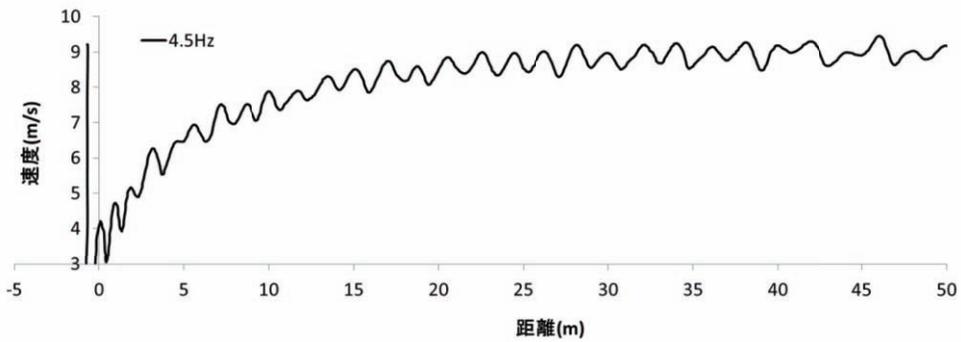


図3. 4.5Hzで平滑化された距離-速度曲線

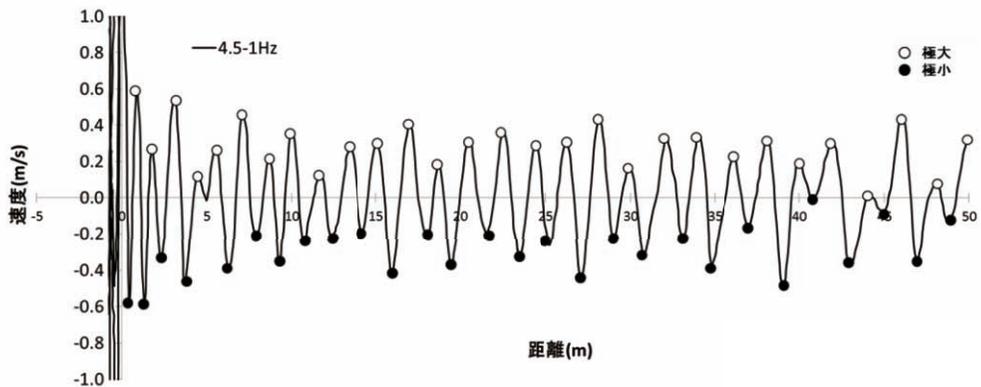


図4. 4.5Hzから1Hzを減じた距離-速度曲線

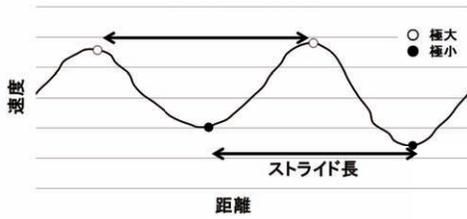


図5. 図4拡大図

- (2) 極大極小値の選択
- (3) 外れ値の除去\*

\* 外れ値は、ピッチ (歩/s) が3以下又は6以上の値とした。

### Ⅲ. 結果

#### 1. ストライド長とピッチの変化

画像データとレーザー速度測定器による画像あり条件および画像なし条件の1歩毎のストライド長とピッチの変化の代表例を図6に示した。

レーザー速度測定器によって得られたストライド長とピッチの変化は画像データと類似した傾向であった。

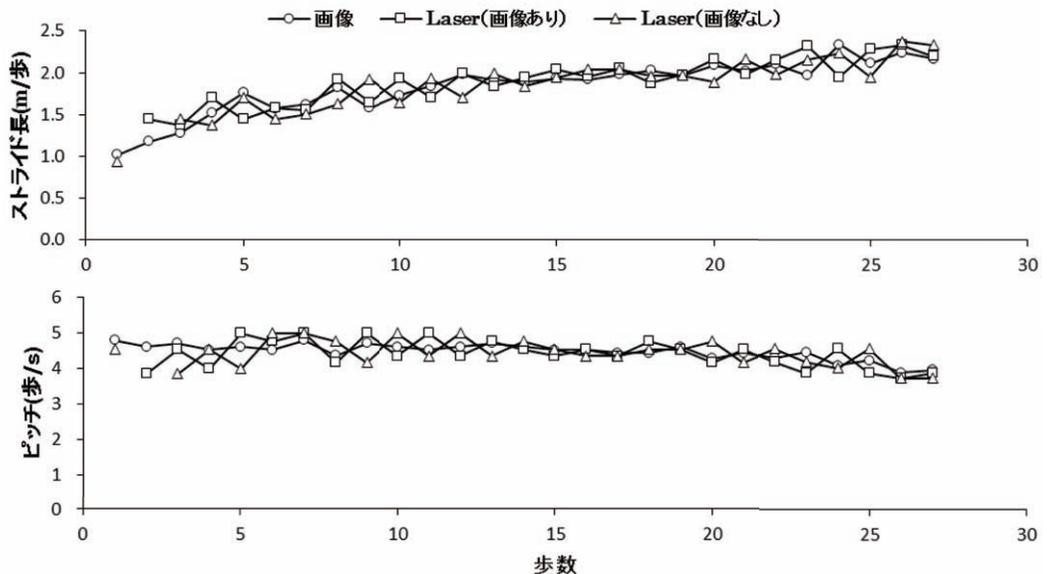


図6. 1歩毎のストライド長とピッチの連続変化例

\* Laser から算出したストライド長とピッチは外れ値を除いているのでデータが欠損している。

#### 2. 1歩毎のストライド長とピッチの誤差率

画像データとレーザー速度測定器による画像あり条件および画像なし条件の1歩毎のストライド長とピッチの誤差率を図7に示した。画像あり条件のストライド長とピッチの平均誤差率はそれぞれ  $0.11 \pm 0.03$  (n=19),  $0.10 \pm 0.03$  (n=19) であり、最大誤差率は、0.18, 0.14であった。画像なし条件のストライド長とピッチの平均誤差率はそれぞれ  $0.16 \pm 0.06$  (n=19),  $0.18 \pm 0.14$  (n=19) であり、最大誤差率は、0.31, 0.41であった。ストライド長とピッチともに画像あり条件は有意な低値を示した (表1)。

#### 3. 2歩毎のストライド長およびピッチの誤差率

画像データとレーザー速度測定器による画像あり条件および画像なし条件の2歩毎のストライド長とピッチの誤差率を図8に示した。画像あり条件のストライド長とピッチの平均誤差率はそれぞれ  $0.06 \pm 0.02$  (n=19),  $0.05 \pm 0.02$  (n=19) であり、最大誤差率は、0.12, 0.08であった。画像なし条件のストライド長とピッチの平均誤差率はそれぞれ

れ  $0.10 \pm 0.04$  (n=19),  $0.12 \pm 0.11$  (n=19) であり、最大誤差率は、0.20, 0.30であった。ストライド長とピッチともに画像あり条件は有意な低値を示した(表2)。

#### IV 考察

##### 1. レーザー速度測定器におけるストライド長とピッチの正確性

レーザー速度測定器から算出された画像あり条件のストライド長とピッチの平均誤差率は1歩毎が  $0.11 \pm 0.03$ ,  $0.10 \pm 0.03$  であり、2歩毎が  $0.06 \pm 0.02$ ,  $0.05 \pm 0.02$  であった。画像なし条件のストライド長とピッチの平均誤差率は1歩毎が  $0.16 \pm 0.06$ ,  $0.18 \pm 0.14$  であり、2歩毎が  $0.10 \pm 0.04$ ,  $0.12 \pm 0.11$  であった。画像あり条件は画像なし条件よりも正確性が高い。しかし、画像あり条件では、画像データを参照しながら分析を行っており、簡便性、即時性が必要とされる競技現場では画像なし条件の分析方法での高い正確性が必要とされる。また、本研究ではレーザー速度測定器によるストライド長とピッチの算出はプログラムを用いて自動で処理を行い、要した時間は1分で

あった。遮断周波数、極大極小値および外れ値の選択は手動で行ったため、どのくらいの時間で算出できるかは不明であるが、プログラムを用いて自動で処理を行うと、これまでの画像データからの算出法より短い時間で測定ができると考えられる。

##### 2. 誤差の原因

1歩毎および2歩毎の誤差率の変化は、スタート付近とフィニッシュ付近で高値を示している(図7, 8)。金高ら(2004)やKintaka et al. (2013)もスタート付近での誤差が大きい傾向があり、加速に伴う前傾姿勢の変化やレーザー照射位置のずれの問題を指摘している。また、加速局面、最大スピード局面、減速局面に分けて、平滑化処理を行わなかったため、特にピッチの急激な増加がみられるスタート付近(Mackala, 2007)において適切な平滑化処理がなされていないと考えられる。

Kintaka et al. (2013)は、時間-距離データをレーザー速度測定器で採取すると同時に足の接地時の映像をデジタルビデオカメラにて撮影し、接

表1. 1歩毎のストライド長とピッチの平均誤差率および最大誤差率

|             | ストライド長          |      | ピッチ             |      |
|-------------|-----------------|------|-----------------|------|
|             | 平均±SD           | 最大   | 平均±SD           | 最大   |
| 画像あり(n=19)  | $0.11 \pm 0.03$ | 0.18 | $0.10 \pm 0.03$ | 0.14 |
| 画像なし(n=19)  | $0.16 \pm 0.06$ | 0.31 | $0.18 \pm 0.14$ | 0.41 |
| Differences | p<0.01          |      | p<0.05          |      |

表2. 2歩毎のストライド長とピッチの平均誤差率および最大誤差率

|             | ストライド長          |      | ピッチ             |      |
|-------------|-----------------|------|-----------------|------|
|             | 平均±SD           | 最大   | 平均±SD           | 最大   |
| 画像あり(n=19)  | $0.06 \pm 0.02$ | 0.12 | $0.05 \pm 0.02$ | 0.08 |
| 画像なし(n=19)  | $0.10 \pm 0.04$ | 0.20 | $0.12 \pm 0.11$ | 0.30 |
| Differences | p<0.01          |      | p<0.01          |      |

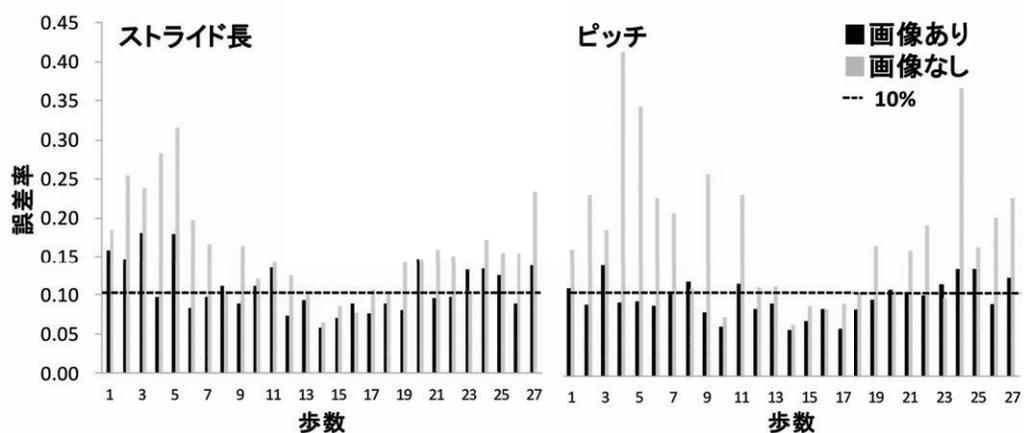


図7. 1歩毎のストライド長とピッチの誤差率

\* 誤差率は1歩毎の平均値を示す。

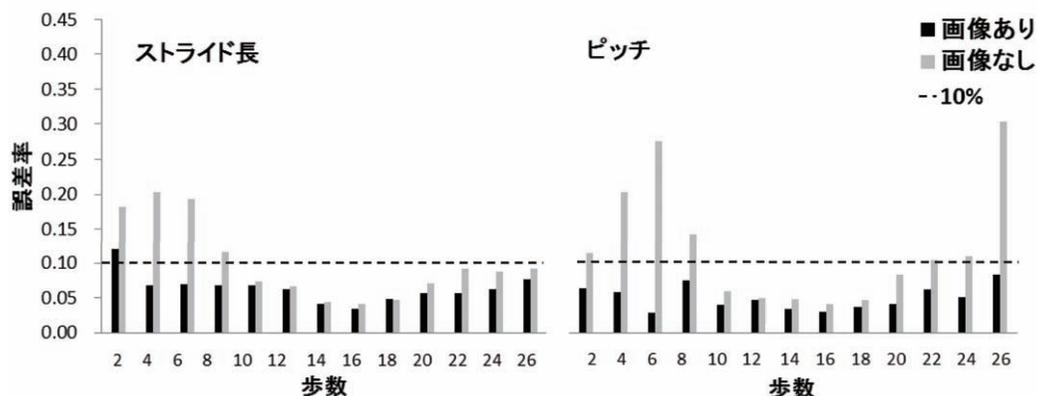


図8. 2歩毎のストライド長とピッチの誤差率

\* 誤差率は2歩毎の平均値を示す。

地時の距離データを読み取ることで体幹変位（ストライド長）を算出した。2次元動作解析により算出されたストライド長を真値とし、レーザーデータとの比較を行った。その結果、レーザーデータの1歩毎の誤差は0.05-0.20mであると報告した。これは、本研究より誤差が小さい。その理由として、本研究ではストライド長を距離-速度曲線における1周期毎の極大極小値から推定しているため、極小および極大値における走フォームのばらつきによる誤差が考えられる。また、スターティングブロックでのスタートのためスタート後

にレーザー照射位置が臀部から背中へとずれることによる誤差が考えられる。

### 3. 今後の課題

今後の課題として、スタート付近とフィニッシュ付近の遮断周波数を適宜選択することでさらに正確な推定が可能であると考えられる。また、距離-速度曲線の極小および極大値における走フォームのばらつきによるストライド長の誤差がどの程度か検討する必要がある。

## V. まとめ

レーザー速度測定器だけを用いたスプリント走の1歩毎および2歩毎のストライド長とピッチ測定 of 正確性を画像データと比較した結果, 以下の結果が得られた。

1. 画像あり条件の1歩毎のストライド長, ピッチの誤差率は  $0.11 \pm 0.03$ ,  $0.10 \pm 0.03$  であった。
2. 画像あり条件の2歩毎のストライド長, ピッチの誤差率は  $0.06 \pm 0.02$ ,  $0.05 \pm 0.02$  であった。
3. 画像なし条件の1歩毎のストライド長, ピッチの誤差率は  $0.16 \pm 0.06$ ,  $0.18 \pm 0.14$  であった。
4. 画像なし条件の2歩毎のストライド長, ピッチの誤差率は  $0.10 \pm 0.04$ ,  $0.12 \pm 0.11$  であった。

以上の結果から, レーザー速度測定器を用いたスプリント走のストライド長とピッチの測定に関して, 2歩毎では約10%の誤差で推定できることが明らかになった。

## 文献

- 阿江通良・鈴木美佐緒・宮西智久・岡田英孝・平野敬靖 (1994) 世界一流スプリンターの100mレースパターン分析—男子を中心に—. 世界一流陸上競技者の技術. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編. ベースボールマガジン社: 東京, pp.14-28.
- Harrison, A. J., Jensen, R. L., and Donoghue, O. (2005) A comparison of laser and video techniques for determining displacement and velocity during running. *Measurement in Physical Education and Exercise Science.*, 9(4): 219-231.
- 金高宏文 (1999) レーザー速度測定器を用いた疾

走速度測定におけるデータ処理の検討. 鹿屋体育大学研究紀要, 22: 99-108.

金高宏文・松田三笠・瓜田吉久 (2004) レーザー速度測定器とビデオカメラを利用したスプリント走中のストライド変化の推定. *スプリント研究*, 14: 65-75.

Kintaka, H., Urita, Y., and Ae, M. (2013) Development of software for analyzing step length courses in sprint dash with the use of the laser velocity measuring device and digital video camera. *The 31st Conference of the International Society of Biomechanics in Sports.*, P 03-16.

Mackala, K. (2007) Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres. *New Studies in Athletics.*, 22(2): 7-16.

Winter, D. A. (1990) *Biomechanics and motor control of human movement* (2nd ed.). Wiley-Interscience: Canada, pp.33-45