

# スマートウォッチを用いた区間速度測定手法の開発

吉川 楓馬<sup>1</sup> 本山 清喬<sup>2</sup> 元嶋 菜美香<sup>2</sup> 神屋 郁子<sup>3</sup> 下川 俊彦<sup>1</sup>

**概要:** 陸上競技における短距離走のパフォーマンスは最大速度と強い関係性があり、区間速度の測定が重要である。現行の区間速度測定にはカメラ映像や光電管などを用いる。しかし、機材が高価であることや準備に時間がかかることが課題である。そこで本研究では、スマートウォッチを利用した区間速度測定手法の開発に取り組んだ。この手法では位置情報から2点間の距離と経過時間を用いて速度を算出し、速度群を平滑化・補間して10mごとの区間速度を推定した。その結果、スマートウォッチで測定した区間速度とカメラ映像から得た速度を比較し、有意な誤差の発生率が10%程度であることが確認された。さらに、平滑化条件を検証し、適切な条件を見出した。

## Development of a Sectional Speed Measurement Method Using a Smartwatch

**Abstract:** The performance of short distance running in track and field events is strongly related to the maximum speed, and it is important to measure the sectional speed. Currently, sectional speeds are measured using camera images and photoelectric tubes. However, these devices are expensive and time-consuming to prepare. In this study, we developed a method for measuring section speeds using a smartwatch. This method calculates the speed using the distance between two points and the elapsed time from position information, and estimates the sectional speed every 10 meters by smoothing and interpolating the speed group. As a result, it was confirmed that the rate of significant error was about 10 percent when the sectional speeds measured by the smartwatch were compared with the speeds obtained from the camera images. Furthermore, the smoothing conditions were verified and appropriate conditions were found.

### 1. はじめに

陸上競技における短距離走のパフォーマンスは最大速度と強い関係性がある。日本陸上競技連盟科学委員会の報告書 [1] においても10mごとの区間で速度を算出しており、瞬間速度ではなく区間速度をパフォーマンスの評価として用いることは妥当である。区間速度の測定は大会参加時に実施し客観的評価によって課題を見つけることができるだけでなく、練習時に実施することで実践的かつ質の高いトレーニングが可能となる。

現行の区間速度測定方法にはカメラ映像を使用する方法、レーザー式速度計測器を使用する方法、光電管を使用する方法がある。しかし、それらは使用する機材が高価である・事前準備に時間がかかる・専門知識が必要であるという問題がある。

本研究の目的は、現行の区間速度測定方法と比べて、安価で、事前準備に時間がかからず、専門知識を必要としない区間速度測定手法を開発することである。

### 2. 現行の区間速度測定方法とその問題点

区間速度とはある特定の区間における短距離選手の速度のことである。1章で述べた通り、短距離走のパフォーマンスは最大速度と強い関係性がある。最大速度は短距離選手だけに必要な測定項目ではない。例えば、走り幅跳びの選手が踏切直前で最大速度を出すことができれば、良いパフォーマンスが望める。区間速度を計測し、どの区間で最大速度が出現するかを特定することが出来れば、最適な助走距離を決めることができる。

<sup>1</sup> 九州産業大学理工学部情報科学科  
Department of Information Science, Faculty of Science and Technology, Kyusyu Sangyo University, Fukuoka 813-8503, Japan  
<sup>2</sup> 九州産業大学健康・スポーツ科学センター  
Health and Sports Science Center, Kyusyu Sangyo University, Fukuoka 813-8503, Japan  
<sup>3</sup> 福岡女子大学国際文理学部環境科学科  
Department of Environmental Sciences, Faculty of International Arts and Sciences, Fukuoka Women's University, Fukuoka 813-8529, Japan

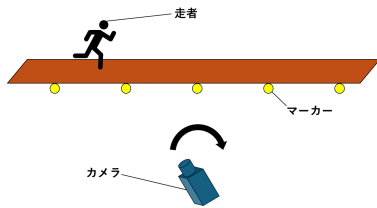


図 1 カメラ映像を使用した区間速度測定

Fig. 1 Section Speed Measurement Using Video Camera Footage

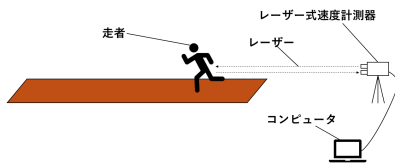


図 2 レーザー式速度計測器を使用した区間速度測定

Fig. 2 Section Speed Measurement Using Laser Speed Measuring Instrument

## 2.1 カメラ映像を使用した区間速度測定方法

カメラ映像を使用した区間速度測定(図1)は、事前に10m 毎の位置にマーカーを設置する。走者が走行している様子をカメラで撮影して、撮影した映像から走者がマーカーを通過するまでに要した時間を解析することで速度を測定する。

## 2.2 レーザー式速度計測器を使用した区間速度測定方法

レーザー式速度計測器を使用した区間速度測定(図2)は、事前にレーンの前後いずれかにレーザー式速度計測器を設置する。レーザーを走者に向かって当て、走者から反射した光が返ってくるまでの時間を計測する。その後、計測した時間と光の速度を用いて走者までの距離を算出する。算出した距離データはコンピュータに送られ、速度を算出する。レーザー式速度計測器は1/100 秒単位の計測が可能である [2]。

## 2.3 光電管を使用した区間速度測定方法

光電管を使用した区間速度測定(図3)は、事前に10m 毎の位置に投光器と受光器をレーンの左右に設置する。走者が投光器と受光器の設置位置を通過して、投光器の光を遮断するまでに要した時間を解析することで区間速度を測定する。

## 2.4 現行の区間速度測定方法の問題点

カメラ映像を使用した区間速度測定の問題点は事前準備に時間がかかることである。なぜなら、カメラやマーカーといった機材の設置が必要だからである。

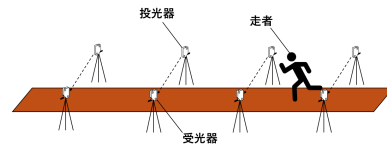


図 3 光電管を使用した区間速度測定

Fig. 3 Section Speed Measurement Using Photocell

表 1 現行の区間速度測定方法の問題点

Table 1 Problems With Current Section Speed Measurement Method

測定方法	機材が高価	事前準備に時間がかかる	専門知識が必要
カメラ映像	×	○	○
レーザー	○	×	○
光電管	○	○	×

レーザー式速度計測器を使用した速度測定の問題点は3つある。1つ目はレーザー式速度計測器が高価なことである。2つ目はレーザー式速度計測器を使って計測したデータから速度を算出するには、解析用のソフトウェアが必要であるため、専門知識が必要なことである。3つ目はレーザー式速度計測器は選手の腰にレーザーを照射することで計測するため、計測ミスが発生する可能性があることである。

光電管を使用した速度測定の問題点は2つある。1つ目は計測に必要な機材が高価なことである。2つ目は事前準備に時間がかかることである。例えば、100m 走において10m 毎の速度を計測する場合、20 個の機材の設置が必要である。そのため、20 個の機材を購入しなければならない。また、機材の設置に時間がかかる。

以上の問題点を解決するためには安価で、設置に時間がかからず、専門知識を必要としない区間速度測定手法が必要である。現行の区間速度測定方法の問題点を表1に示す。

## 3. スマートウォッチを使用した区間速度測定方法と問題点

### 3.1 スマートウォッチを使用した区間速度測定方法

スマートウォッチを使用した区間速度測定(図4)は、移動中の2点の緯度、経度を取得し、その2点間の距離と経過時間を使って速度を求める。2点間の距離は緯度、経度から計算し、経過時間は時刻の差から計算する。走者が走り始めてから走り終わるまで、緯度・経度を取得し続け、連続する2点間の速度を順次計算する。最後に、10m 毎の速度の推測値を補間する(図5)。

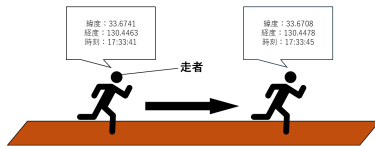


図 4 スマートウォッチを使用した区間速度測定

Fig. 4 Section Speed Measurement Using Smartwatch

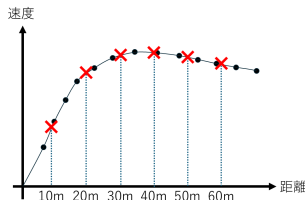


図 5 10m 毎の速度の推測値の補間

Fig. 5 Interpolation Of Speed Estimates Every 10m

### 3.2 スマートウォッチを使用した区間速度測定方法の問題点

スマートウォッチを使用した区間速度測定の問題点は、正確に走者の位置の取得しなければならないことである。正確に走者の位置を取得できなければ、2点間の速度に誤差が生じるからである。

### 3.3 スマートウォッチを使用した区間速度測定方法の問題点の解決策

3.2節で述べた、スマートウォッチを使用した区間速度測定の解決策として、走者が走り始めてから走り終わるまでに算出した速度を対象に平滑化をする。平滑化とは連続するデータの集まりにおいて、特異点やノイズをなくすために、ある点のデータをその近傍の点のデータを用いて平均化処理を行い、スムーズにつながるデータの集まりになるようにすることである [3]。

## 4. 推定する区間速度の精度を確認する実験

3.3節までに述べた、スマートウォッチを利用した区間速度測定方法で推定する区間速度の精度を調査する。本実験の目的は、様々な条件でスマートウォッチを利用した区間速度測定方法を用いて算出された区間速度をもとに、提案した手法による区間速度測定は可能であるか検証することである。

### 4.1 仮説

3.2節で述べた、スマートウォッチを使用した区間速度測定方法の問題点から3つの仮説を立てた。

- 高い建物が近くにあると、衛星からの電波が届かないため、正確な位置を取得できないのではないか

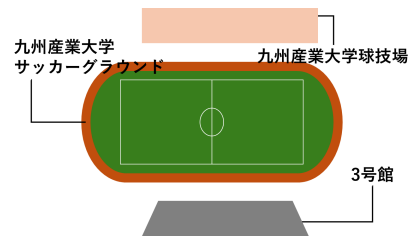


図 6 3号館とサッカーグラウンドと球技場の配置

Fig. 6 Layout Of Building 3, Soccer Field, And Ball Game Field

表 2 実験の条件

Table 2 Experimental Conditions

走った位置	10秒待機	装着位置
球技場側	あり	背中
球技場側	あり	腕
球技場側	なし	腕
3号館側	あり	背中
3号館側	あり	腕
3号館側	なし	背中

- 位置情報の取得開始に時間を要する可能性があるため、待ち時間を設ける必要があるのではないか
- 走行の際、腕の位置が大きく動くことで受信機の位置が変わることから、取得する位置にずれが発生するのではないか

### 4.2 実験方法

4.1節で述べた仮説から、6種類の実験の条件を設けた。高い建物が近くにあると、正確な位置を取得できないという仮説から、走る位置を九州産業大学3号館側のレーンを使った場合と、高い建物がない球技場側のレーンを使った場合を比較した。3号館は8階建てであり、九州産業大学のサッカーグラウンド近くに位置している。一方で、球技場付近には、3号館のような高い建物はない。3号館とサッカーグラウンドと球技場の配置を図6に示す。また、待ち時間を設ける必要があるのではないかという仮説から、走り始める前に10秒待機してから走る場合と、待機せずに走る場合を比較した。さらに、取得する位置にずれが発生するのではないかという仮説から、装着位置を腕にする場合と背中にする場合を比較した。実験の各条件を表2に示す。

実験方法として、被測定者は実験用アプリをインストールしたスマートウォッチを装着し、様々な条件で80mの直線走を5試技ずつ行う。この際、実験用アプリで取得した位置情報を基に算出した区間速度と比較するためにカメラ映像を使用した区間速度測定も同時に行う。実験用アプリで取得した位置情報とカメラ映像を基に、それぞれ区間速度を算出する。本実験では、取得した位置情報から算出した速度の平滑化にはバターワースフィルタを使用し、区間速度の推測値の補間にはスプライン補間を使用する。ま

ず、実験用アプリで作成した csv ファイルに保存されている位置情報から速度を算出する。算出した速度群に対して、バターワースフィルタで平滑化する。その後、スプライン補間で、5m, 15m, 25m, 35m, 45m, 55m, 65m, 75m, 80m の速度を補間する。最後に、有意水準を 5%とした両側検定を用いた t 検定により、実験用アプリで算出した区間速度とカメラ映像から算出した区間速度に有意差がないか検討する。

### 4.3 実験用アプリ

実験用アプリは被測定者が走行中、被測定者の位置情報を取得し続けるアプリである。開発には Swift を用いた。また、位置情報を取得する周期を定義するプロパティである distanceFilter は最も短い kCLDistanceFilterNone に設定した。さらに、被測定者が走り終わったとき、走行中に取得した位置情報を実験用アプリ内に csv ファイルで保存するようにした。

### 4.4 平滑化・補間・t 検定を行うプログラム

平滑化・補間・t 検定を行うプログラムの開発には Python と Google Colaboratory を用いた。このプログラムを実行する前の準備として、実験用アプリで作成した csv ファイル内の位置情報とカメラ映像から算出した区間速度を xlsx ファイルにまとめる。その後、xlsx ファイル内で位置情報から連続する 2 点間の速度をヒュベニの公式 [4] を用いて計算する。最後に、xlsx ファイルを Google Colaboratory にアップロードする。

### 4.5 実験結果

実験結果として、3 号館側かつ 10 秒待機なしかつ背中に装着した場合には 5 試技中 2 試技 ( $t(9)=-2.649, p < .05$ ,  $t(9)=-3.378, p < .05$ ), 3 号館側かつ 10 秒待機ありかつ背中に装着した場合には 5 試技中 1 試技 ( $t(9)=4.094, p < .05$ ) が有意差がみられた。その他 4 つの条件では 5 試技全てで有意差がみられなかった。最終的に、有意な誤差がみられた試技は、30 試技中 3 試技であった。有意な誤差の発生率は 10%であることから、本実験では仮説は支持されなかった。すなわち、提案した区間速度測定方法を用いることで、区間速度測定は可能であると言える。有意差がみられた 3 号館側かつ 10 秒待機ありかつ背中に装着した場合の 5 試技目と、3 号館側かつ 10 秒待機なしかつ背中に装着した場合の 3 試技目のスピード曲線を図 7 と図 8、有意差がみられなかった球技場側かつ 10 秒待機ありかつ背中に装着した場合の 1 試技目と、球技場側かつ 10 秒待機ありかつ腕に装着した場合の 4 試技目のスピード曲線を図 9 と図 10 に示す。

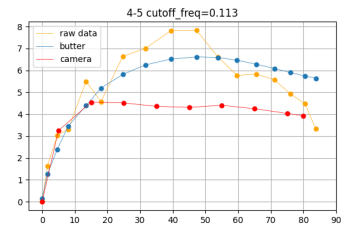


図 7 3 号館側&10 秒待機あり&背中に装着した場合  
Fig. 7 Building 3 Side & With 10 Seconds Standby & Worn On The Back

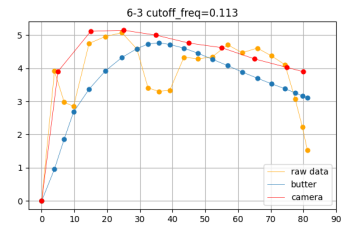


図 8 3 号館側&10 秒待機なし&背中に装着した場合  
Fig. 8 Building 3 Side & Without 10 Seconds Standby & Worn On The Back

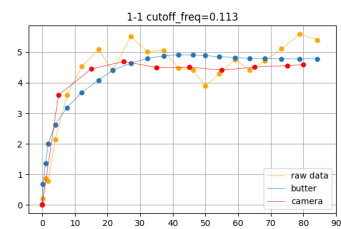


図 9 球技場側&10 秒待機あり&背中に装着した場合  
Fig. 9 Ball Field Side & With 10 Seconds Standby & Worn On The Back

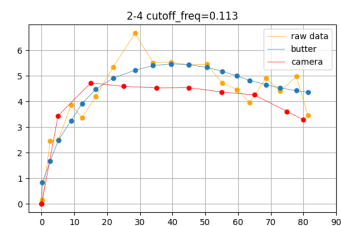


図 10 球技場側&10 秒待機あり&腕に装着した場合  
Fig. 10 Ball Field Side & With 10 Seconds Standby & Worn On The Arm

## 5. カットオフ周波数の調整

本研究では区間速度の算出の精度を高めるために、推定する区間速度の精度を確認する実験で算出した速度に対して、異なるカットオフ周波数でバターワースフィルタを適用し、適切なカットオフ周波数を調整した。

まず、実験の各条件で取得した位置情報から算出した速度それぞれに対して、バターワースフィルタのカットオフ周波数を 0.133・0.2・0.25・0.3・0.35 に指定した場合で平

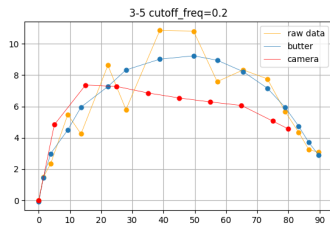


図 11 カットオフ周波数 0.2 & 球技場側 & 10 秒待機なし & 腕に装着した場合

Fig. 11 Cutoff Frequency 0.2 & Ball field Side & Without 10 Second Standby & Worn On The Arm

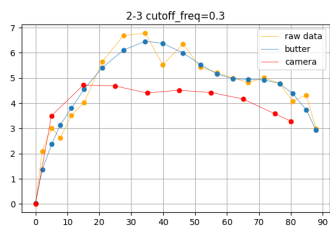


図 12 カットオフ周波数 0.3 & 球技場側 & 10 秒待機あり & 腕に装着した場合

Fig. 12 Cutoff Frequency 0.3 & Ball field Side & With 10 Seconds Standby & Worn On The Arm

滑化し区間速度を算出する。その後、有意水準を 5% とした両側検定を用いた t 検定により、算出した区間速度とカメラ映像から算出した区間速度に有意差の有無を判定する。

平滑化・補間・t 検定を行うプログラムには、平滑化する際に、調査するカットオフ周波数を設定してから平滑化を行うように変更した。補間と t 検定は推定する区間速度の精度を確認する実験と同様に行う。また、推定する区間速度の精度を確認する実験と同様に、平滑化前の速度群、平滑化後の速度群、カメラ映像から算出した区間速度それぞれのスピード曲線をまとめたグラフを出力した。

### 5.1 実験結果

実験結果として、カットオフ周波数は走者が走り始めてから走り終わるまでに得られた速度の数に応じて調整した。取得した位置情報から算出した速度の数が 12 点くらいでは 0.25~0.3, 16 点くらいでは 0.2~0.25, 20 点くらいでは 0.133~0.2 が適切であると判断した。有意差がみられたカットオフ周波数 0.2 かつ球技場側かつ 10 秒待機なしかつ腕に装着した場合の 5 試技目と、カットオフ周波数 0.3 かつ球技場側かつ 10 秒待機ありかつ腕に装着した場合の 3 試技目のスピード曲線を図 11 と図 12, 有意差がみられなかったカットオフ周波数 0.3 かつ球技場側かつ 10 秒待機ありかつ背中に装着した場合と、カットオフ周波数 0.35 かつ 3 号館側かつ 10 秒待機なしかつ背中に装着した場合のスピード曲線を図 13 と図 14 に示す。

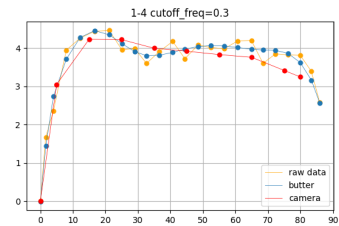


図 13 カットオフ周波数 0.3 & 球技場側 & 10 秒待機あり & 背中に装着した場合

Fig. 13 Cutoff Frequency 0.3 & Ball field Side & With 10 Seconds Standby & Worn On The Back

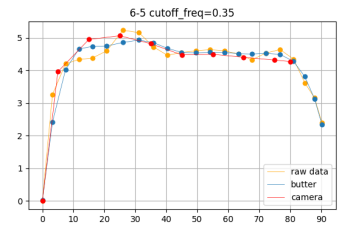


図 14 カットオフ周波数 0.35 & 3 号館側 & 10 秒待機なし & 背中に装着した場合

Fig. 14 Cutoff Frequency 0.35 & Building 3 Side & Without 10 Seconds Standby & Worn On The Back

## 6. まとめ

本研究では、推定する区間速度の精度を確認する実験やカットオフ周波数の調整をすることで、現行の区間速度測定方法と比べて、安価で、事前準備に時間がかからず、専門知識を必要としないスマートウォッチを用いた区間速度測定手法を開発できたことから、本研究の目的は達成できたといえる。

### 参考文献

- [1] 錦谷貴志, 小林海, 高橋恭平, 山中亮, 松林武生, 大沼勇人, 広川龍太郎: 2020 年国内主要競技会における女子 100m 選手のレース分析 ~ 兒玉芽生選手に焦点を当てて ~, 陸上競技研究紀要 vol.17(2021).
- [2] 松尾彰文, 金高宏文: レーザー方式による経時的疾走速度の計測, 体育の科学 vol.51(2001).
- [3] 日本電子株式会社: 平滑化 (スムージング) | 用語集 | JEOL 日本電子株式会社 (online), 入手先 <<https://www.jeol.co.jp/words/emterms/20121023.094657.html#gsc.tab=0>> (2012-10-23).
- [4] TrailNote: TrailNote: 2 地点間の距離の計算 (online), 入手先 <[https://www.trail-note.net/tech/calc\\_distance/](https://www.trail-note.net/tech/calc_distance/)>