

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

金高 宏文*

The examination of processing of raw kinematic data form measuring of velocity courses in the sprint events with the use of the laser velocity measuring device

Hirofumi KINTAKA*

Abstract

The processing of raw kinematic data form measuring of velocity courses in the sprint events with the use of the laser velocity measuring device (LAVEG) were examined. By Harmonic Analysis of raw kinematic data (the distance-time), it found that the most signal power was contained below 0.5Hz under any measuring circumstances. The smoothing of raw distance-time data could be enough to use 31point moving average method in the LAVEG. But, when could not bear the laser on the back (lumbar region) of the athlete in an instant during measuring of velocity courses, 31point moving average method would been not enough to smooth the raw data. In this case, Using 3 point digital filtering method with cutoff at 0.5Hz, the raw data could be smoothed satisfactorily.

Key Word: *measuring of velocity courses, sprint events, the laser velocity measuring device, harmonic analysis, smoothing*

1. はじめに

人間の疾走速度を経時的に測定しようとする試みは、19世紀末より行われている³⁾。特に、陸上競技では高い関心が持たれ、光電管やフィルム、ビデオを用いた測定が積極的に行われている^{7),13)}。しかし、疾走速度を計測するには、多くの人手や高価な機器が必要になるために、「いつでも」「どこでも」というわけには行かないでいる。ところが、近年、簡単に計測者一人で疾走する選手の瞬時(50Hzのサンプリングで)の移動距離を経時的に計測することができるドップラー効果を利用したレーザー速度計測器(JENOPTIK社製、

LAVEG-Sport)が開発された⁴⁾(写真1参照)。そして、本測定器は陸上競技の100mや走幅跳のトレーニングや試合で、コーチや選手へ疾走あるいは助走速度を即座にフィードバックするために活用され始めている¹¹⁾。

しかしながら、本測定器から得られるデータを活用しようとする、計測後のデータ処理でのとまどいや不便な点があることに気づく。実際のレーザー速度測定器で採取される疾走速度は大きく振動しており、これを真のデータとして読んでよいものかと迷うのである(図1参照)。そのような問題を解決するために、本器には3~99点までの移動平均法(注1)によりその振動を除去(平滑

*鹿屋体育大学 National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, Kagoshima, Japan.

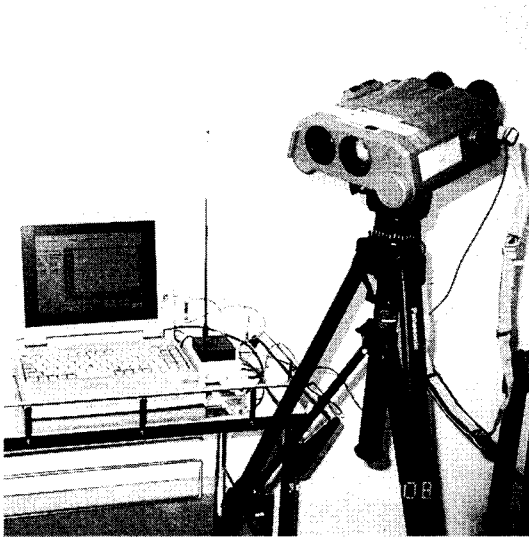


写真1. レーザー速度測定器

化)するデータ処理機能が装備されている⁵⁾が、どの点の移動平均法を用いればよいかについては明確に示されていないのである。また、多くの点の移動平均法では、多くのデータを失うことになるので他の平滑化法も検討することが望まれる。得られたデータを最大限に活用してコーチングやスプリント研究を行うためには、本測定器で得られる時間-距離データ及び距離-速度データに関しての特性を踏まえて、活用する方策を検討しておく必要がある。

そこで、本研究では、レーザー速度測定器より得られた人間の直線疾走中の時間-距離及び距離-速度データの特性及びそのデータ処理法(扱い方)について検討するものである。

2. 測定データにおける特性の検討

1) 時間-距離データにおけるノイズ発生の確認

人間の疾走では接地期に減速と加速が繰り返されながら行われている^{2,3,8)}。本測定器はこの接地

■測定状況：グラウンド（地上1.2m）・人間走行

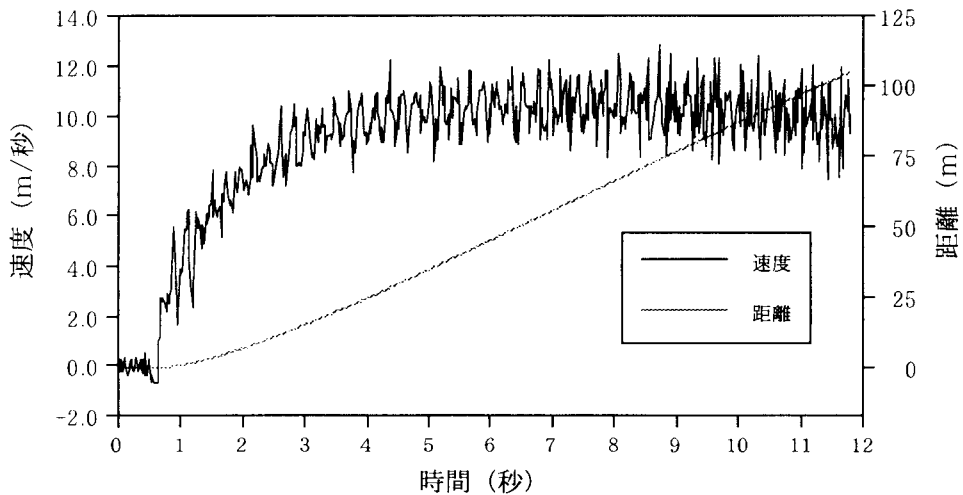
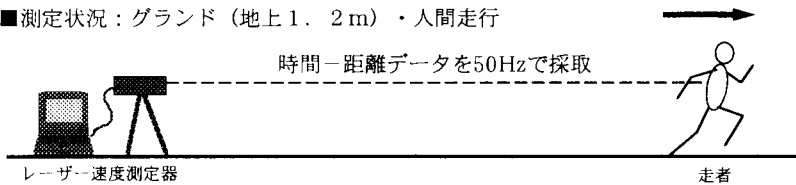


図1. レーザー速度測定器で計測される100m疾走中の時間-距離及び時間-速度データ例

期における速度変化を感知するので、得られた速度データは振動する。それ故、人間の走行中の振動する速度データを「見したのでは、その振動が接地期の速度の増減によるものなのか、測定上の何らかのノイズによるものなのかがわかりにくい。そこで、接地期における速度の減速がないと考えられるスクーターに乗った人間の時間-速度を検討してみることにした。測定は、スクーターに乗る人間の背中にレーザー光が常時当たるように計測者が測定器を操作して計測した（図2の上図参照）。速度は、1階差分による数値微分⁶⁾

$$V_n = \frac{D_{n-1} - D_n}{\Delta t} \dots\dots\dots (式1)$$

により求めた。このとき、 V_n はn番目の速度、 D_n はn番目の距離、 $\Delta t = 0.02\text{sec}$ とした。図2の下図は、測定により得られた時間-距離、時間-速度のデータである。一次データである時間-距離データに振動は見られないが、それを数値微分して得られる時間-速度データでは大きく振動し

ていることがわかる。データを数値微分するとノイズは増幅して現れるので、本測定器より得られるスクーター走行中の時間-距離データにもレーザー測定器固有のノイズ及びレーザーを追尾することによる測定器の操作（わずかな上下動）上のノイズが生じていることが推察される。

2) 時間-距離データの周波数特性の検討

前述のようにレーザー速度測定器で得られる時間-距離データにはノイズが含まれている。従って、真の移動中の時間-速度データを知るためには、測定データよりノイズを除去する必要がある。そのためは、得られた時間-距離データの周波数特性を知り、真の値がどのような周波数の範囲に分布するかを明確にする必要がある^{1), 6), 9), 12)}。そこで、距離の時間的変化をフーリエ変換し、パワースペクトル密度を計算してみることにした。図3は、図1で示した人間走行時と前述のスクーター走行時の時間-距離データのパワースペクトル

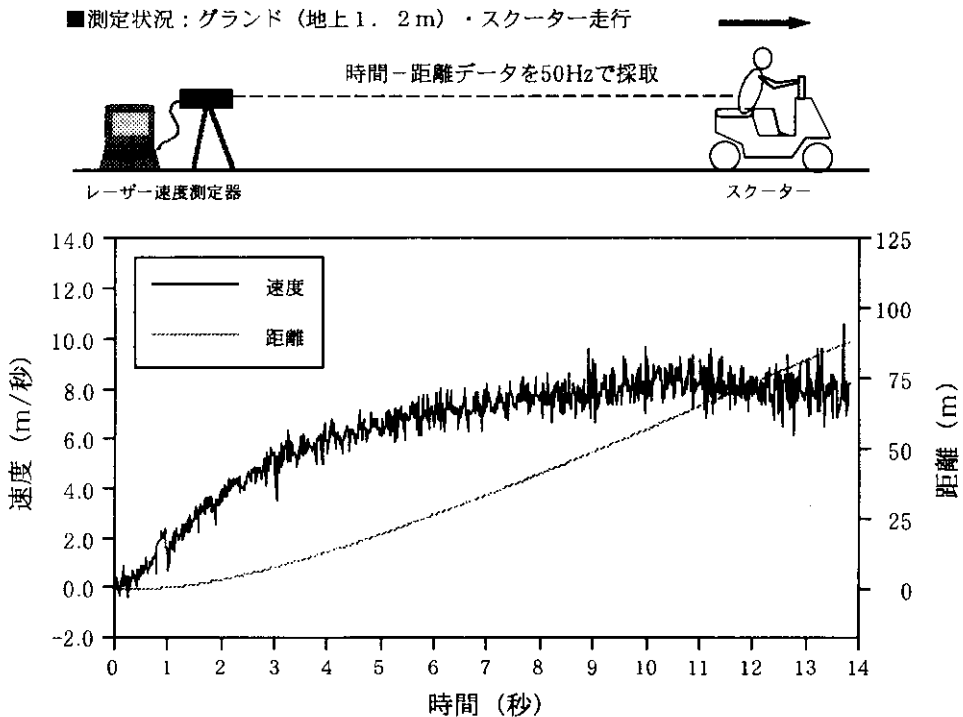


図2. スクーター走行中の時間-距離及び時間-速度データ

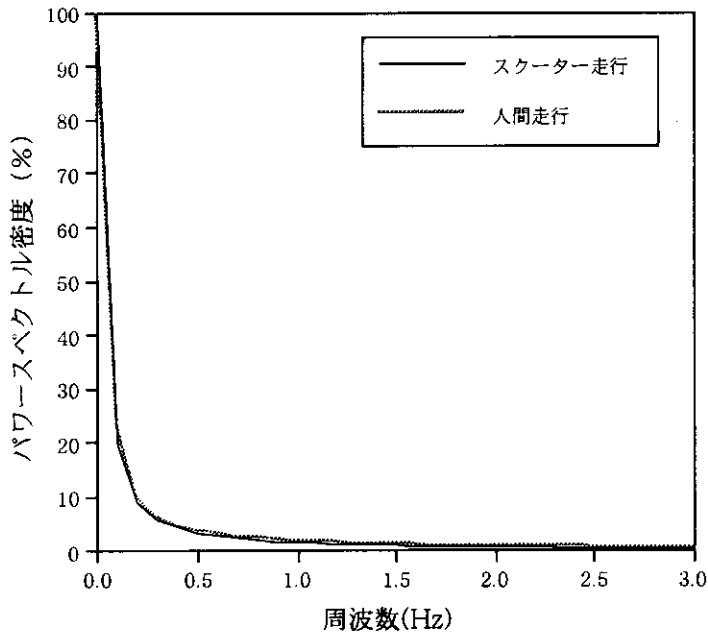


図3. 人間及びスクーター走行中のパワースペクトル密度

ル密度（最大値を100%として表示）と周波数の関係を示したものである。この図から、約0.5Hz以上の周波数成分のパワー密度は極めて相対的に小さくなっていることがわかる。このことは、この2つの測定データとも約0.5Hz以内の周波数に真の値が相対的に多くあることを示している。

さらに、地上5～15mの上方から選手にレーザー光が当たるように測定器を動かしながら、陸上競技の競技会における100m走中の疾走速度を測定した場合の時間-距離データについても検討した（測定状況は図4の上図参照）。図4の下図は、これらの測定試技のパワースペクトル密度と周波数の関係について示したものである。この図から、前述の測定データと同じように約0.5Hz以上の周波数成分のパワー密度が極めて相対的に小さくなっていることがわかる。このことは、約0.5Hz以内の周波数に真の測定データが相対的に多くあることを示している。

従って、100m走における時間-距離データは、レーザー速度測定器の測定高度の高低に関わらず、0.5Hz 辺りの遮断周波数で高周波のノイズが除去

されれば、真の値を簡便に得られるといえる。

3. データ処理法の検討

1) 速度を求める数値微分法について

本測定器のソフトウェアにおける時間-速度データの算出では、1階差分による微分（式1）が用いられている。しかし、宮地ら¹⁰⁾が指摘するように1階差分による微分法は、高周波のノイズを増幅し、位相ずれを起こさせることから、距離データから速度データを求める適当な微分法でないと考えられる。図1及び図2の時間-速度データにもそのような傾向が見受けられる。そこで、低周波において真の微分に近似し、ノイズが多いと考えられる高周波では減衰し、位相ずれを起こさないと考えられる5点移動2次近似による数値微分法

$$V_n = \frac{-2 \cdot D_{n-2} - D_{n-1} + D_{n+1} + 2 \cdot D_{n+2}}{10 \cdot \Delta t} \dots\dots\dots (式2)$$

で時間-速度データを求めた。このとき、 V_n はn

■測定状況：スタンド・人間走行

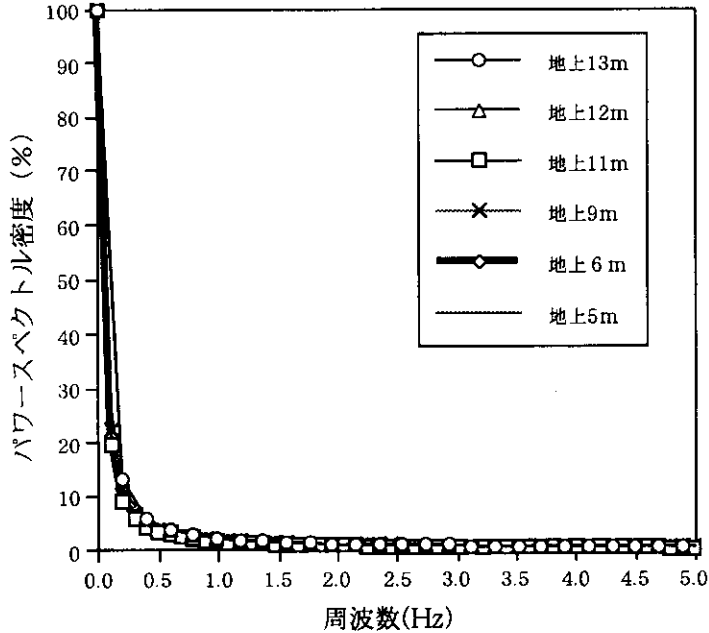
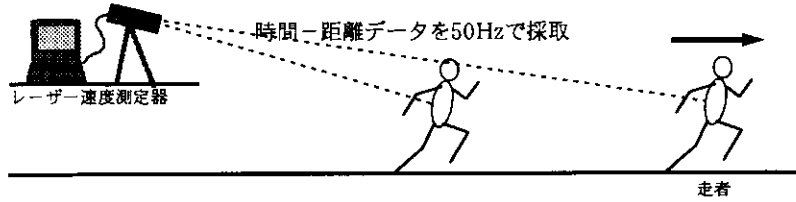


図4. 様々な測定高度における人間の走行中のパワースペクトル密度

番目の速度， D_n は n 番目の距離， $\Delta t = 0.02\text{sec}$ とした。図5は，両者の微分法の違いを示した時間-速度データである。5点移動2次近似による微分法(式2)は，1階差分による微分法(式1)に比較してデータの振動が小さく，真の速度を近似しているように思われる。従って，測定器のソフトウェアを利用しないで，速度を算出する場合は5点移動2次近似による微分法を用いるほうが望ましいといえよう。

2) 移動平均法によるノイズの除去(平滑化)について

本測定器のソフトウェアでは，得られた時間-距離データに発生するノイズを除去するために3

～99点の移動平均法による平滑化処理を任意に選択できるようになっている。しかし，前述の時間-距離データの特性の検討から0.5Hzあたりの遮断周波数で高周波のノイズを除去することが期待されているので，それに対応する点数の移動平均法が選択されるべきである。理論的に N 点の移動平均法の遮断周波数 (f_c) は，データのサンプリング周波数が F のとき，

$$f_c = \frac{F}{N} \times 0.443 \dots\dots\dots (式3)$$

として求められる¹⁰⁾。従って，ノイズを除去する遮断周波数を決定すれば適切な点数の移動平均法を選択することができる。仮に遮断周波数を0.5 Hzとすると，本測定器のデータのサンプリング

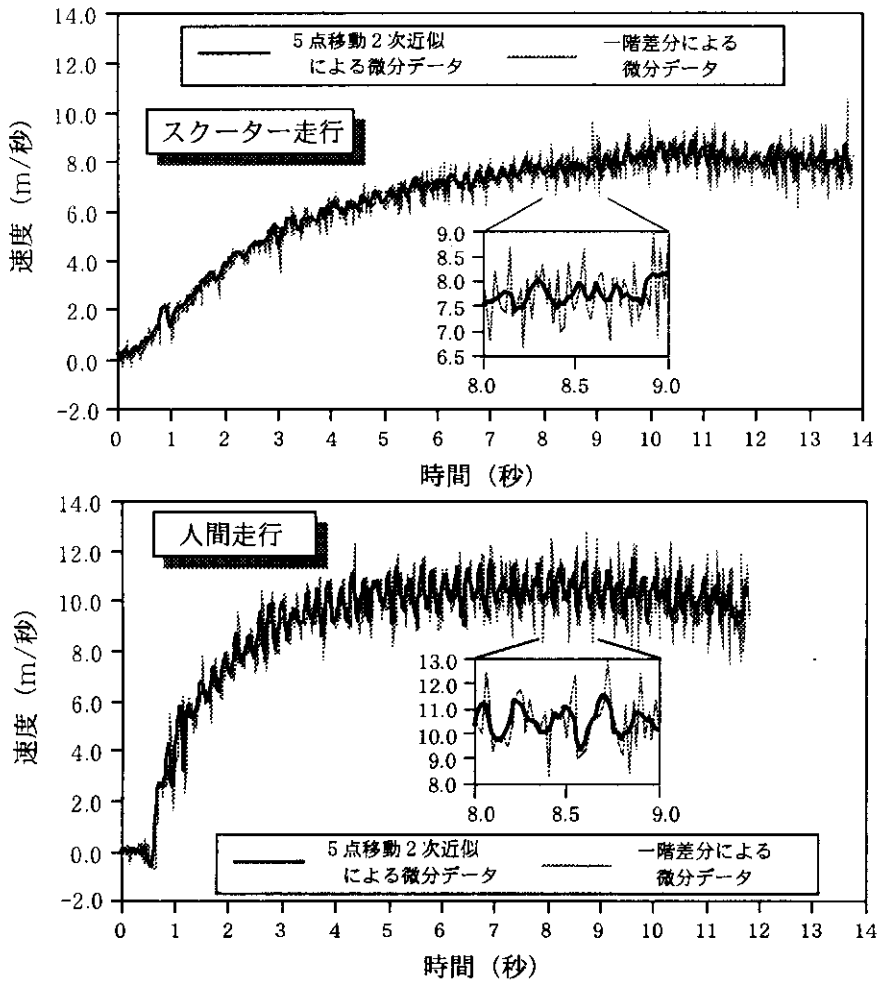


図5. スクーター及び人間走行中の速度データ算出法の違い

が毎秒50個なので、このとき用いられるべき移動平均法の点Nは、

$$N = \frac{50}{0.5} \times 0.443 = 44.3$$

で、45点の移動平均法となる。しかし、本測定器のソフトウェアの初期設定では最大31点までの移動平均法しか表示されていない。けれども、31点の移動平均法の遮断周波数は約0.7Hzと45点の0.5Hzに近い。一般的に移動平均法は遮断周波数近くで鋭い遮断特性もたず、その作用する範囲は遮断周波数を中心にして広い^{9),10)}ので、45点と31点の移動平均の遮断周波数の特性に大きな差はな

いと考えられる。図6は、図5で示したスクーターと人間の走行中の時間-距離データについて45点と31点の移動平均により平滑化を行い、1階差分による微分法(式1)によって速度を求めたものである。距離-速度データを見る限り、45点と31点の間でのデータ差や位相差は見られない。従って、本測定器のソフトウェア内では、31点の移動平均法を用いれば、適切にノイズが除去された測定データを得ることができるといえよう。

しかし、31点等の移動平均法は、遮断周波数の前後でデータの遮断力が弱いので、レーザー光が一瞬選手の背中よりはずれて大きなミスデータを

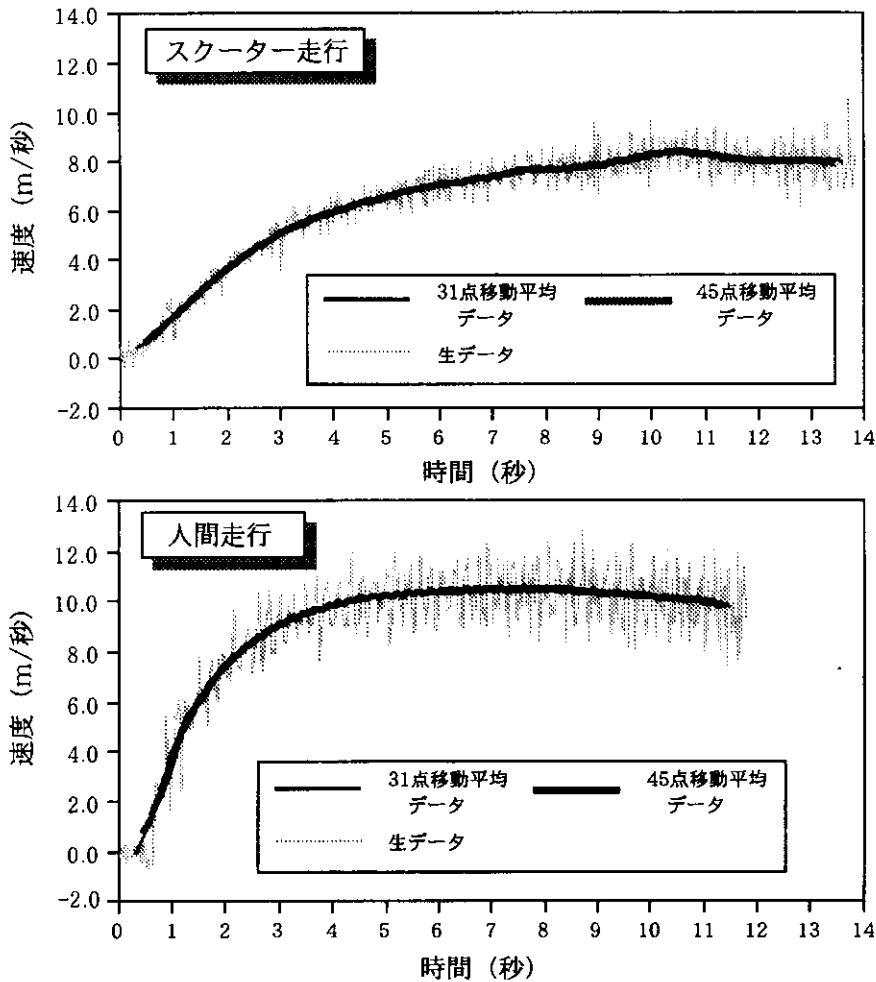


図6. 31点及び45点移動平均法による生データの平滑化状況

得た場合（注2），そのミスデータの影響を完全に消し去ることが十分できないばかりか，そのミスデータを反映した新たなデータが作られてしまう（図7参照，45点の場合も同様に生じる）。さらに，31点移動平均法の場合，最初と最後の15個のデータについては，データを失うことにもなるので，できる限り多くの点（データ）を失わない平滑化法をも検討しておくことが望ましいと考えられる。そこで，欠損データが少なく，比較的鋭い遮断でノイズを除去することができる3点デジタルフィルター（注3を参照）についても，その実用性について検討することにした。

3) 3点デジタルフィルターによるノイズ及びミスデータの除去について

図8は，図7で示したミスデータを含む時間-距離データを3点デジタルフィルターによって0.5, 1.0Hzの遮断周波数で平滑化して求めた距離-速度データを示している。この図から0.5Hzの遮断周波数は，生データ及び31点の移動平均法のデータをよく近似しながら，ノイズ及びミスデータを適切に除去していることがわかる。一方，1.0Hzでは，ノイズデータを適切に処理しながらも，大きく逸脱したミスデータの影響を打ち消すことができず，平滑化後のデータを波打たせ，31

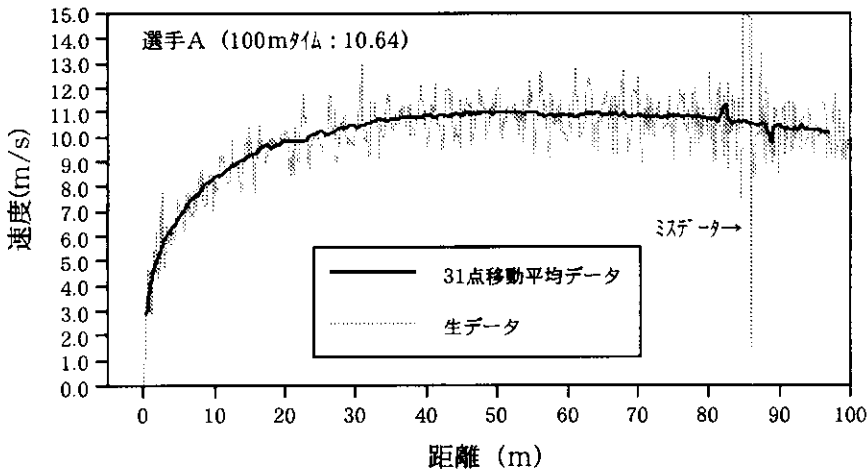


図7. ミスデータを含むデータを31点移動平均法で平滑化したときの状況

点の移動平均法データとも対応が悪くなるといった現象が生じた。つまり、測定データにミスデータがある場合に3点デジタルフィルターを使うには遮断周波数の選択が重要となり、遮断周波数が0.5Hz以下でないとミスデータを除去できないと考えられる。

ちなみに、100m疾走の計測の場合、測定した時間-距離データにミスデータがない場合の3点デジタルフィルターの最適な遮断周波数は、生データと平滑化データの最小残差から求める方法（残差分析）¹⁾によると、1.0Hz前後である。それ故、ミスデータの有無（速度データによる）の確認後に遮断周波数を0.5Hzにするか、1.0Hzにするかを定めることが非常に重要になる。

4. まとめ

本研究の目的は、近年開発されたレーザー速度測定器より得られた人間の直線疾走中の時間-距離及び距離-速度データの特性及びそのデータ処理法（扱い方）について検討するものであった。その結果、時間-距離データは、測定高度に影響されることなく、0.5Hz辺りの遮断周波数で高周波のノイズが除去されれば、真の値を簡便に得られることがわかった。また、時間-速度及び距離-速度データにおけるノイズの除去は、レーザー速

度測定器内で初期設定されている31点の移動平均法で十分対応できることが明らかになった。しかし、測定中にレーザー光が一瞬選手の背中よりはずれて大きなミスデータを得た場合、31点の移動平均法はそのミスデータの影響を完全に消し去ることが十分できないことがわかった。その場合は、3点デジタルフィルターにより0.5Hzの遮断周波数でミスデータを除去すると、ミスデータを持つ測定データも有効に活用できることがわかった。

(注1) N点移動平均法 (N = 2m + 1)

FD_n: n番目の平滑化されたデータ (n ≥ m),

D_n: n番目の生データ

$$FD_n = \frac{D_{n-m} + D_{n-m-1} + \dots + D_{n-1} + D_n + D_{n+1} + \dots + D_{n+m-1} + D_{n+m}}{N}$$

(注2) 測定ではレーザー光が常時選手の背中に照射されるようにしているが、時として一瞬ずれ、選手の時間-距離データが採取できない場合（ミスデータの採取）がある。このことは、厳密には「その測定が失敗に終わった」と考えるべきである。しかし、ミスデータ以外に測定された時間-距離データは適正に測定されており、さらに多くあるということから、多くの適

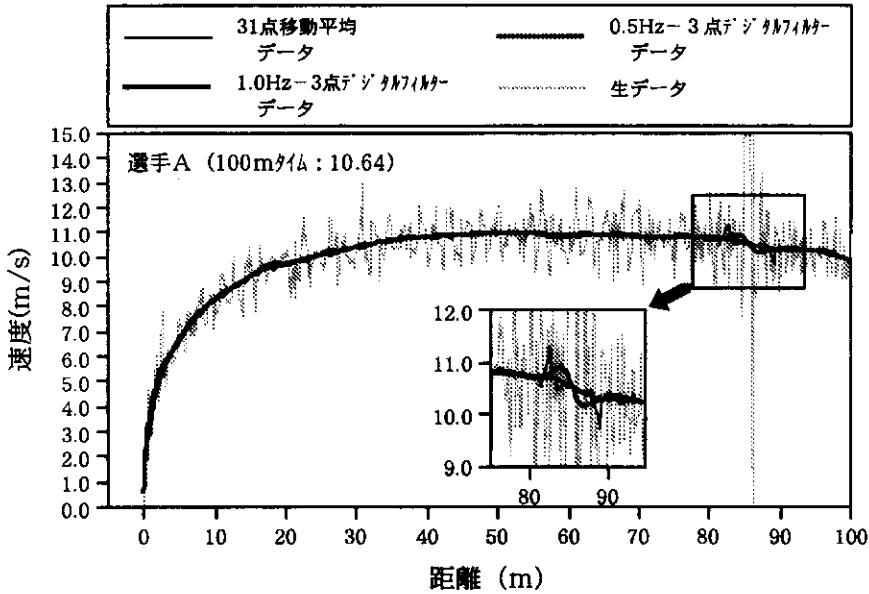


図8. 3点デジタルフィルターによるミスデータの平滑化状況

正なデータを有効活用するためにもミスデータの処理について考えることにした。

(注3) 3点デジタルフィルター：計算プログラムの概要 (Basic)

ch：遮断周波数, sh：サンプリング周波数

ND：生データの総数

RD (I)：I番目の生データ, FD (I)：I番目の平滑化されたデータ

$$A = ch / (0.182 * sh)$$

$$B = \text{Log} ((\text{Cos} (1.14 * A) + 1) / 2) / \text{Log} (10)$$

$$NR = \text{Int} (-0.15058 / B)$$

For K=1 To NR

For I=2 To ND-1

$$FD (I) = (RD (I-1) + 2 * RD (I) + RD (I+1)) / 4$$

Next I

Next K

5. 引用文献

- 1) David A Winter: Biomechanics and Motor Control of Human Movement (second edition), John Wiley & Sons, Inc., 1990, pp27-50.
- 2) 深代千之, 石毛勇介, 柴山 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.
- 3) 古屋かおる, 宮下充正: 身体運動学の成立, 浅見俊雄, 宮下充正, 渡辺 融編, 現代体育・スポーツ体系第7巻 身体運動の科学, pp.10-18.1984.
- 4) Hartmut Dickwach, Falk Hildebrand, Bettina Perlt: A laser velocity measuring device -The determination of velocity courses in the jumping events with the use of the LAVEG measuring device-, New Studies in Athletics 9(4), pp.31-40, 1994.
- 5) ヘンリージャパン株式会社: ラベグ・スポーツデータ集録・解析処理取り扱い説明書 (第1版), ヘンリージャパン株式会社, 1998.
- 6) 小林一敏, 大島義晴: 映像解析におけるフィルタリング, J.J.Sports Sci. 2(3), pp.172-181.

1983.

- 7) 小林寛道：疾走速度の分析, 宮下充正監修, 走る科学, 大修館, 1990, pp.50-56.
- 8) 小林寛道：キック力の測定, 宮下充正監修, 走る科学, 大修館, 1990, pp.66-74.
- 9) 南 茂夫：演算処理における雑音除去法, 南茂夫編, 科学計測のための波形データ処理, CQ出版社, 1986, pp.84-110.
- 10) 宮地 力, 小林一敏：画像分析による速さの測定, J.J.Sports Sci. 3(9), pp.666-674, 1984.
- 11) 野口純正：特集 第6回世界選手権大会・アテネ大会バイオメカニクス・データ, 陸上競技マガジン, 47(11), pp.99, 1997.
- 12) 大道 等：写真解析の読み取り誤差と微分演算—速度・加速度算出の問題点—, J.J.Sports Sci. 2(3), pp.182-199, 1983.
- 13) 鈴木久雄：時間と速度の測定, 浅見俊雄, 宮下充正, 渡辺 融編, 現代体育・スポーツ体系第7巻 身体運動の科学, 1984, pp.72-74.

(平成11年7月13日 受付)
(平成11年8月16日 受理)