

## 100m 走中の速度変化をあらわす新しい指標：累積速度偏差に着目して

高橋 和文<sup>1)</sup> 黒川 隆志<sup>1)</sup> 磨井 祥夫<sup>2)</sup>**The new index of velocity change in the 100m sprint: in terms of the amount of velocity deviation**Kazufumi Takahashi<sup>1</sup>, Takashi Kurokawa<sup>1</sup> and Sachio Usui<sup>2</sup>**Abstract**

This study examined the usefulness of two indices that indicate changes in velocity during a 100m sprint. The subjects were 18 highly trained college male sprinters (100m sprint best time 11.29±0.36 s). The first index indicates the Amount of Deviation of subject's running Velocity (ADV) from Furusawa's theoretical velocity, defined by the following equation.

$$ADV = \int_{t_0}^{t_1} \{v^*(t) - v(t)\} dt$$

The second index is “%ADV”, and is defined by the following equation.

$$\%ADV = \frac{\int_{t(v_{max})}^{t_{100}} \{v^*(t) - v(t)\} dt}{\int_{t(v_{max})}^{t_{100}} \{v^*(t)\} dt} \times 100$$

Where  $v^*$  is Furusawa's theoretical velocity,  $v$  is the actual running velocity,  $t$  is time from the start,  $t_0$  is the section start time,  $t_1$  is the section end time,  $t(v_{max})$  is the time at top speed, and  $t_{100}$  is the 100m running time. The following results were obtained. (1) “ADV” in each 5-m section was able to analyze more clearly the changes in running velocity than “percentage decrease of velocity”. (2) Multiple regression analysis suggested that “%ADV” is an index by which velocity decrement can be analyzed with higher accuracy than with “percentage decrease of velocity”.

**Key words : short sprint, running velocity, theoretical velocity, percentage decrease of velocity, decrease of running velocity**

(Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 50: 189-200, March, 2005)

キーワード：短距離走，疾走速度，理論速度，速度逓減率，速度低下

1) 広島大学大学院教育学研究科  
〒739-8524 広島県東広島市鏡山一丁目1-1  
2) 広島大学総合科学部  
〒739-8521 広島県東広島市鏡山一丁目7-1  
連絡先 高橋和文

1. Graduate School of Education, Hiroshima University  
1-1-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima City,  
Japan, 739-8524  
2. Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima  
University  
1-7-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima City,  
Japan, 739-8521

Corresponding author kazu6754@hiroshima-u.ac.jp

# 1 はじめに

## 1. 速度逓減率に関する研究

100m 走中の速度変化を分析した報告によれば、スタートからゴールまでの疾走速度は一定でなく、特に後半は中盤に比べて疾走速度が低下することが知られている（猪飼ほか, 1963；阿江ほか, 1994）。この100m 走後半の速度低下を表す指標は、古くは鈴木（1937）により、速度逓減率として以下のように定義された。

$$\text{速度逓減率} = (v_0 - v) / v_0 \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{式 (1)}$$

$v_0$  は Furusawa et al. の理論式（Furusawa et al., 1927a, 1927b）から導かれる理論的な最高速度を表し、 $v$  は最高速度発現後の最も疾走速度が低下した地点（区間）の疾走速度を表す。

現在は、理論式を用いることなく、一般的に以下の定義で速度逓減率が算出されている（阿江ほか, 1994；岩井ほか, 1997；持田ほか, 1999；中野ほか, 1991；尾縣ほか, 1998）。

$$\text{速度逓減率} = (v_{\max} - v) / v_{\max} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{式 (2)}$$

$v_{\max}$  は実際に発現した最高速度を表し、 $v$  は、

最高速度発現後の最も疾走速度が低下した地点（区間）またはゴール手前の地点（区間）の疾走速度を表す。

以上のように速度逓減率は、最も低下した時点の疾走速度を最高速度に対する割合として示すため、速度低下を簡便に表すことができる。

しかしながら、速度逓減率には時間の概念が入っていないため、最高速度の発現後、どのような経過をたどって速度低下が生じているのか不明である。Fig. 1 は、100m 走タイム、最高速度および速度逓減率が等しいにも関わらず、最高速度の発現時間 ( $t(v_{\max})$ ) とその後の疾走速度が異なる2つの事例を示したものである。この事例において、例 a と例 b の速度経過の違いを明確にするには、速度逓減率では困難であり、時間的要因を含めて疾走速度の変化過程を捉えることが必要となる。

従来、男子一流選手では 50—60m の区間に最高速度が発現する頻度が高いと報告されてきた（Ae et al., 1992; Moeavec et al., 1988）。しかし近年、世界記録の更新されたレースにおいては 70—80m 区間に最高速度が発現し、速度維持の区

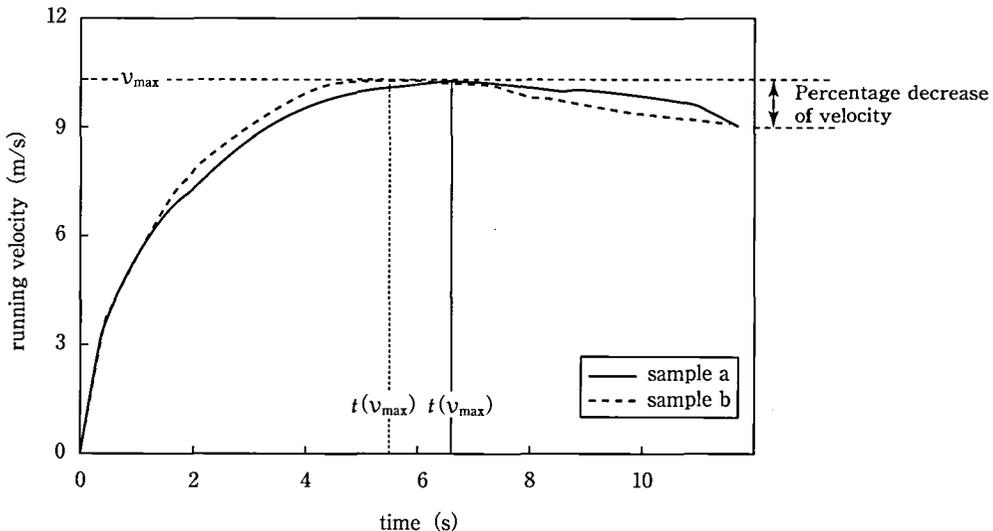


Fig.1 An example of velocity curve in 100m sprint  
 $v_{\max}$  is actual top speed.  
 $t(v_{\max})$  is time at actual top speed.  
 Percentage decrease of velocity =  $(v_{\max} - v) / v_{\max} \times 100$   
 $v$  is the lowest velocity after actual top speed.

間を短くすることが、速度逓減率を低く抑え、記録向上の1つの要因になると指摘されている (阿江ほか, 1994)。

これらの事例や報告は、時間的要因を含めて速度変化を分析することの重要性を示唆する。

2. 速度変化をあらわす新しい指標の提案と本研究の目的

時間的要因を含めた新しい指標を提案するためには、時間経過にともない、疾走速度が何に対して偏倚しているかを示す基準が問題となる。速度逓減率は、最高速度の理論値あるいは実測値を基準としている。本研究では、鈴木 (1937) と同様に、下記の Furusawa et al.の理論式を基準として用いる。

$$v^* = fga(1 - e^{-at}) \dots\dots\dots \text{式 (3)}$$

$v^*$  は上式から算出される疾走速度、 $f$  は推進力係数、 $g$  は重力加速度、 $a$  は時定数、 $e$  は自然対数の底、 $t$  はスタートからの経過時間を示す。

この理論式で示される疾走速度は、実際の疾走速度を表す精度の高いことが知られており (猪飼

ほか, 1963 ; Volkov and Lapin, 1979),  $fga$  の積で表される理論的な最高速度に近似していく。つまり、式 (3) による疾走速度は、疲労による速度低下は生じないと仮定した場合の理論的な疾走速度を表している (Ward-Smith, 1985)。本研究ではこれを基準として用いた。

そして、この理論速度と実際の疾走速度との差に時間を加味し、累積速度偏差を次式のように定義した。

$$\text{累積速度偏差} = x^* - x = \int_{t_0}^{t_1} \{v^*(t) - v(t)\} dt \dots\dots\dots \text{式 (4)}$$

$x^*$  は理論値で疾走した場合の距離、 $x$  は実際の疾走距離、 $v^*$  は式 (3)、 $v$  は実際の疾走速度、 $t$  はスタートからの経過時間、 $t_0$  は区間開始時間、 $t_1$  は区間終了時間を表す。

この式 (4) は、Fig. 2 に示したように、理論値と実測値の速度差の絶対値を任意の時間間隔で積分したものであり、その単位は距離となる。このように速度の偏倚を距離 (絶対値) で表すと、区間毎の和や差を簡単に求めることが可能になるため、その扱いが割合に比べて容易になる。また、

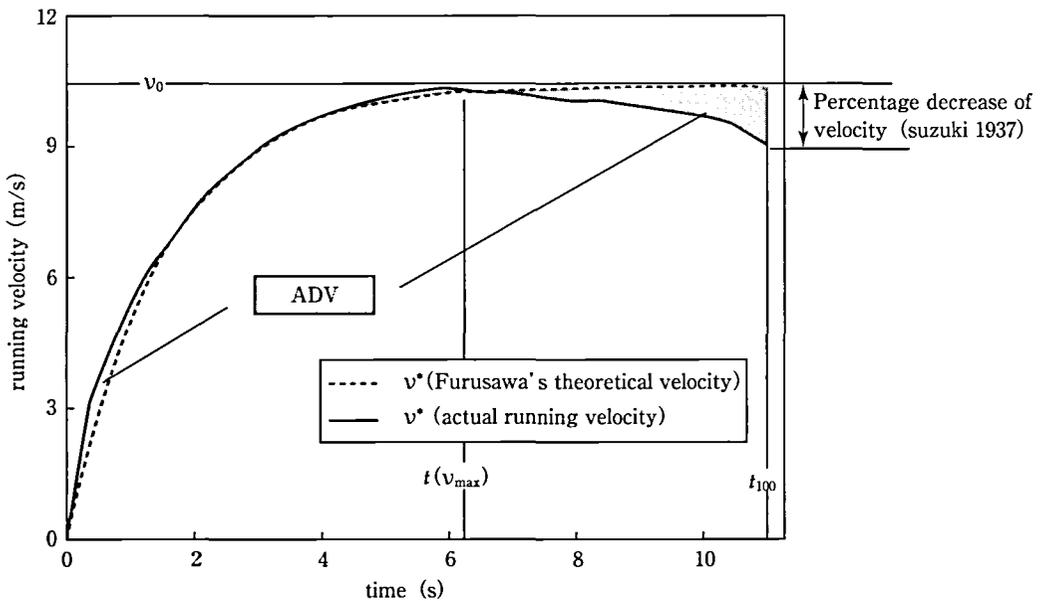


Fig.2 An example of ADV (Amount of Deviation of Velocity from theoretical velocity)  
 $v_0$  is top speed at Furusawa's theoretical velocity.  
 $t(v_{max})$  is time at actual top speed.  
 $t_{100}$  is 100m running time.

時間間隔を自由に設定できるため、その間隔を小さくすることで、速度曲線の変化傾向をより詳細に分析できる。

さらに本研究では、速度逓減率と類似の概念として、累積速度偏差率を、最高速度発現後からゴールまでの速度低下の総量を同区間の理論値に対する割合として次式のように定義した。

$$\text{累積速度偏差率} = \frac{\int_{t(v_{\max})}^{t_{100}} \{v^*(t) - v(t)\} dt}{\int_{t(v_{\max})}^{t_{100}} \{v^*(t)\} dt} \times 100$$

……………式 (5)

$v^*$  は式 (3)、 $v$  は実際の疾走速度、 $t$  はスタートからの経過時間、 $t(v_{\max})$  は最高速度の出現時間、 $t_{100}$  は100m走タイムを表す。

この累積速度偏差率は、選手によって異なる理論速度を分母とすることで、その数値の大小による影響を除去している。このため、他者との比較に有効な指標であると考えられる。

以上のように、理論速度と実際の疾走速度との差に時間の概念を加味して、累積速度偏差と累積速度偏差率の2つの指標を提案した。以下の2つの課題により、これらの指標の有用性を明らかにすることが本研究の目的である。

第1に、累積速度偏差によって、疾走速度の変化過程を明確に捉えることができるか否かについて検討するため、5m区間毎の累積速度偏差を算出して、その変化傾向の時系列に沿った分析を行う。

第2に、累積速度偏差率の有用性を検討するために、100m走タイム ( $t_{100}$ ) を目的変数に、最高速度、最高速度の到達時間、速度逓減率、累積速度偏差率を説明変数とした重回帰分析 (総当たり法) を行う。そして、どの説明変数の組み合わせが100m走タイムを導く際に有効に機能しているかを統計的に明らかにする。説明変数に最高速度の到達時間を含めた理由は、累積速度偏差率が  $t_{100} - t(v_{\max})$  の時間を考慮しているため、最高速度に到達するまでの時間も考慮する必要があると考えたからである。

Table 1 Physical characteristics and 100m sprint best time of the subjects

	Age (yr)	Body height (m)	Body mass (kg)	Best time (s)
Mean	20.7	1.73	65.9	11.29
SD	1.19	0.07	6.24	0.36

(n = 18)

## II 方 法

### 1. 被験者

被験者は、大学陸上競技部短距離パートに所属する男子18名とした。Table 1に、被験者の身体特性および100m走最高タイムを示した。被験者には本研究の主旨を十分説明し、同意を得たうえで実験を行った。

### 2. 100m走の撮影

実験試技は、クラウチングスタートからの100m全力疾走とした。スタートの合図にはピストルを用いた。100m走の撮影は、高橋ほか(2001)と同様に100mの直線走路2レーン分を用い、スタート(0m)から6mまでは1m間隔、以後12mまでは2m間隔、15mまでは3m間隔、15mからゴール(100m)までは5m間隔でマーカーを設置した。被験者には、この走路上を2人同時に疾走させ、2台のビデオカメラ(30frames/s)で撮影した。撮影した映像に1/100秒間隔でデジタルタイマーを記録し、キャプチャーボードを介して、コンピュータに取り込み、コンピュータ上でマーカー間の通過時間を決定した。マーカーの通過は、身体の前脚の部分で確認した。

### 3. 疾走速度・速度逓減率・累積速度偏差の算出方法

実際の疾走速度は、マーカー間の通過時間から算出した。ただし、スタートから1m地点のマーカーまでの疾走速度は、ピストルの発煙から被験者の身体が動き出すまでの反応時間も含めて算出した。被験者毎に、疾走速度をY軸に、時間をX

軸にとった疾走速度曲線の多項式近似曲線（5次式）を求め、それらの値を用いて、被験者全員の平均疾走速度とその標準偏差を求めた。

実測値から Furusawa et al. の理論速度を求める方法は、渋川 (1969) に従った。すなわち、スタートから最高速度に至るまでの加速局面における疾走速度と加速度の  $x - y$  散布図から最小二乗法により傾きと切片を算出し、そこから  $v_0$  ( $fga$  の積) と  $a$  を求めた。

速度逓減率は、式 (2) を用い、最高速度とそれ以降の最も低い疾走速度との差を最高速度で除して求めた。

累積速度偏差は、式 (4) を用いて個人毎に、スタートからゴールに至るまでの 5m 区間毎に求めた。

#### 4. 統計処理

相関関係の算出には、ピアソンの相関係数を用いた。

重回帰分析（総当たり法）には、標準化したデータを用いた。そして、相関係数と偏回帰係数の符号から多重共線性の有無を確認した。自由度修正済み決定係数により、予測式のあてはまりの良さを判断した。有意水準は 1% 未満とした。

### III 結 果

#### 1. 100m 走中の疾走速度変化

本実験で得られた 100m 走タイムの平均値は  $11.69 \pm 0.49$ s であり、被験者の最高タイムに対する割合は 96.7% であった。100m 走中の理論値および実測値の疾走速度の変化を Fig. 3 に示した。スタートから 2m までの疾走速度は、理論値の方が実測値よりも高値を示した。その後 20m までは実測値の方が理論値よりも高値を示した。20m 時点での実測値は、最高速度の約 90% まで上昇した。20m 以降は、ゴールに至るまで、理論値の方が実測値よりも高値を示した。最高速度 ( $9.8 \pm 0.42$ m/s) は 40m 地点で発現した。40m 以降、疾走速度はゴールに至るまで徐々に低下し、速度逓減率は  $9.1 \pm 3.43\%$  であった。

#### 2. 100m 走における累積速度偏差

Fig. 4 には、100m 走における 5m 区間毎の累積速度偏差の変化を示した。スタートから 5m までの累積速度偏差は、 $0.47 \pm 0.07$ m と高値を示した。次の 5—10m 区間の累積速度偏差は、全区間で最も低値の  $-0.30 \pm 0.06$ m を示し、15—20m の区間に至るまでは負の値を示した。

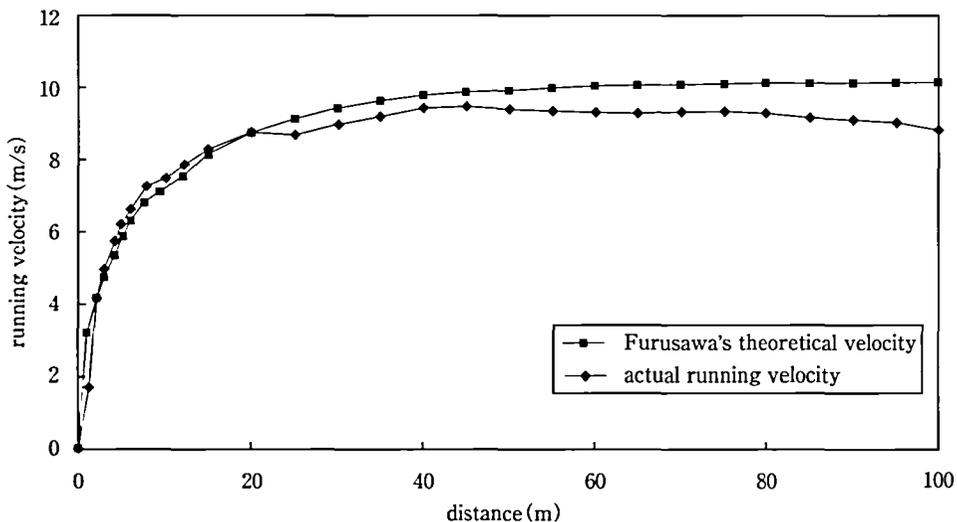


Fig.3 Velocity curve in 100m sprint (mean value) (n=18)

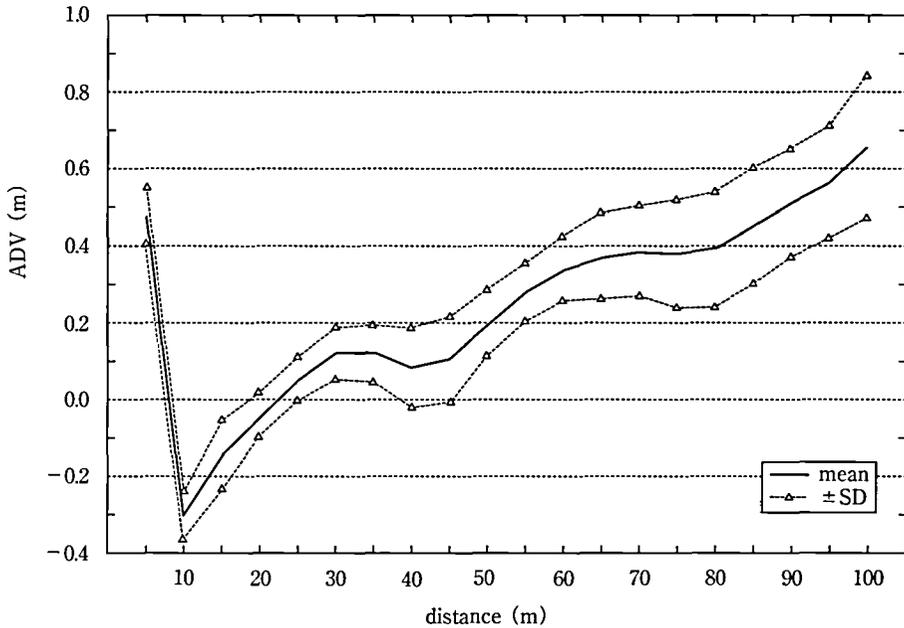


Fig.4 ADV of each 5m section in 100m sprint (n=18)

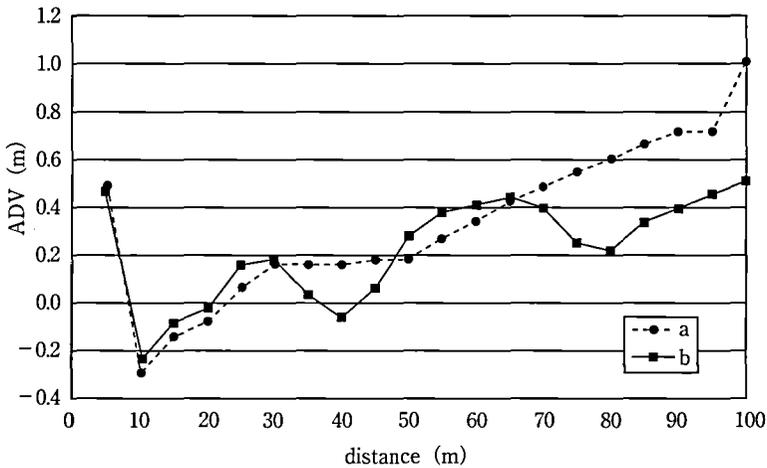


Fig.5 Typical examples of the ADV of two subjects  
 subject a: 100m sprint time 11.7s (best time 11.34s)  
 subject b: 100m sprint time 10.9s (best time 10.64s)

その後、正に転じた累積速度偏差は、25—30mの区間 ( $0.13 \pm 0.07\text{m}$ ) に至るまで増加したが、次の30—35mの区間 ( $0.13 \pm 0.07\text{m}$ ) では前区間と同値を示し、35—40mの区間 ( $0.09 \pm 0.10\text{m}$ ) では、前区間に比べて低値を示した。

40m以降の累積速度偏差については、2つの特

徴的な変化を確認することができた。1つは、40—80mに至るまでの上に凸な曲線的な増加であり、もう1つは、80mからゴールに至るまでの直線的な増加であった。40—80m区間の累積速度偏差の総和を算出すると  $2.49 \pm 0.68\text{m}$  となり、80—100m区間では  $2.20 \pm 0.59\text{m}$  となった。

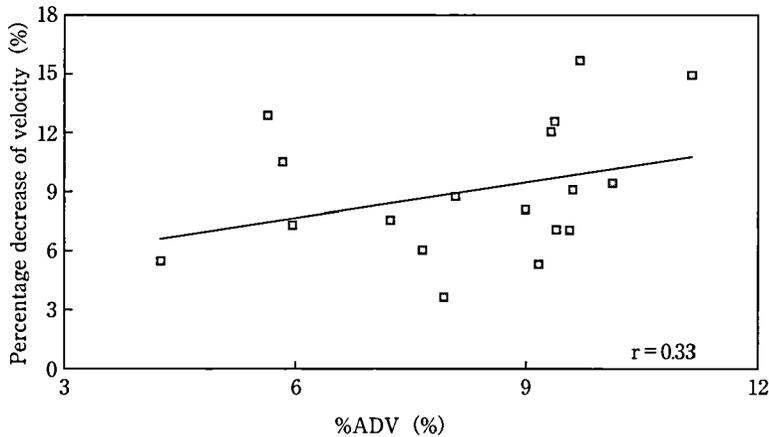


Fig.6 Relationship between % ADV and percentage decrease of velocity in 100m sprint (n=18)

Fig. 5には、特徴的な変化を示した2名の被験者の累積速度偏差を示した。本研究の被験者の中で最も速い最高タイムをもつ被験者bと最も遅い部類に属する被験者aの間に、スタートから30mまでは差異が認められなかった。しかし、それ以降の距離においては、2名の変化パターンに顕著な差異が認められた。すなわち、被験者bでは30—40mおよび65—80mの2区間において累積速度偏差に低下が生じた。これに対し、被験者aでは30—50mにかけて一定の累積速度偏差を維持するものの、それ以降は、累積速度偏差の直線的な増加が生じた。他の被験者の累積速度偏差は、この2名の被験者ほど極端な変化パターンを示さなかった。

### 3. 100m走タイムに対する重回帰分析

累積速度偏差率と速度逓減率との関係を Fig. 6 に示した。両者の相関係数は  $r = 0.33$  と低かった。

速度変化を表す4指標の100m走タイムに対する単相関係数および重回帰分析の結果を Table 2 に示した。単相関において有意性を示したのは、最高速度 ( $r = -0.92$ ,  $p < 0.01$ ) だけであり、他の3指標 (最高速度の到達時間, 速度逓減率, 累積速度偏差率) との間には、有意性は認められなかった。

重回帰分析において多重共線性が認められなかった説明変数の組み合わせは、「最高速度と累積

速度偏差率」, 「最高速度の到達時間と累積速度偏差率」, 「速度逓減率と累積速度偏差率」, 「最高速度の到達時間と累積速度偏差率と速度逓減率」であった。その中で、p値が有意な組み合わせは「最高速度と累積速度偏差率」だけとなり、その自由度修正済み決定係数は0.82であった。

## IV 考 察

### 1. 100m走タイムの妥当性

本研究で得られた100m走タイムの最高タイムに対する割合は96.7%であった。この値は、男子学生選手の100m走レースを測定した持田ほか(1999)に比べると2.2%低い。しかし、本研究と同様に、実験的条件で男子スプリンターの100m走を測定した Volkov and Lapin (1979) や Mero et al. (1989) に比べるとそれぞれ3.8%, 1.1%高かった。したがって、本研究の100m走タイムは、実験的条件で測定したものではあるが、実際のレース場面により近いものであったと考えられる。

本研究の速度逓減率(9.1%)は、持田ほか(1999)より2.1%高値を示した。しかし、多くの一流選手の値が6—7%であること(阿江ほか, 1994)、また、18—20歳の一般学生の値が10—13%(猪飼ほか, 1963)であることから判断すると、本研究の値は、男子学生選手の値として妥

Table 2 Correlation coefficient and Multiple regression analysis between 4 parameters which indicate a velocity change and 100m sprint time

Criterion variable and 4 explanatory variables (4 parameters)		Correlation coefficient between 4 parameters and 100m sprint time			
Criterion variable	100m sprint time	Actual top speed	Time at actual top speed	Percentage decrease of velocity	%ADV
Explanatory variable 1	Actual top speed	- 0.92 ***	0.02	- 0.06	- 0.15
Explanatory variable 2	Time at actual top speed				
Explanatory variable 3	Percentage decrease of velocity				
Explanatory variable 4	%ADV				

\*\*\* p < 0.001

Multiple regression analysis

Explanatory variable	Standard regression coefficient				Multicollinearity	Adjusted coefficient of determination	Variance ratio (F value)	P value
	Actual top speed	Time at actual top speed	Percentage decrease of velocity	%ADV				
1, 2	- 0.93	- 0.11			Y	0.84	44.78	0.00
1, 3	- 0.99		0.24		Y	0.89	66.65	0.00
1, 4	- 0.92			- 0.02	N	0.82	41.02	0.00
2, 3		- 0.01	- 0.07		Y	0.00	0.03	0.97
2, 4		0.02		- 0.15	N	0.00	0.54	0.85
3, 4			- 0.02	- 0.14	N	0.00	0.57	0.85
1, 2, 3	- 0.99	- 0.01	0.24		Y	0.88	41.52	0.00
1, 2, 4	- 0.93	- 0.11		- 0.02	Y	0.83	27.86	0.00
1, 3, 4	- 0.99		0.28	- 0.10	Y	0.89	45.34	0.00
2, 3, 4		0.01	- 0.01	- 0.14	N	0.00	0.36	0.96
1, 2, 3, 4	- 0.99	0.00	0.28	- 0.10	Y	0.88	31.69	0.00

(n = 18)

Y : multicollinearity.

N : without multicollinearity.

当なものと考えられる。

## 2. Furusawa et al.の理論式の基準としての妥当性

本研究では、100m走全般にわたって、Furusawa et al.の理論式と実測値との比較を行った。この理論式を基準として用いることの妥当性を、次の2点から考察する。

1つの論点はスタート直後の反応時間の扱いである。スタートの所要時間には、スタートの合図(ピストルの発煙)から被験者の身体が動き出すまでの時間、すなわち反応時間と、スタートのための動作に要する時間、すなわち動作時間の両方

が含まれる(Mero et al., 1992)。この反応時間は男子選手で約0.12秒(Mero et al., 1990)であり、スタートの合図から1m地点までの所要時間は本研究で約0.50秒であったので、1m地点までの所要時間の約25%は反応時間によって占められたことになる。したがって、本研究においてスタートから5m地点までの累積速度偏差が0.47mの高値を示したことは、スタート技術と共にこの反応時間が影響したことは容易に想像できる。

しかし、本研究ではスタートの所要時間から反応時間をあえて除去しなかった。その理由は、反応時間も100m走全体の所与時間に含まれるためである。そして、反応時間を含めたスタート動作

が理論速度に対して偏倚（遅延）する量として累積速度偏差を算出した。理論式は反応時間を含まない他の14時点を加えて求められるので、反応時間の影響は極めて微弱になる。このため、理論式はスタートの合図からほとんど遅延しない。このことはヒトの生理機能からみて現実的ではないが、理論式は理想曲線ともみなされる。そして、この理想曲線を基準として用いることで、反応時間を含めた総合的なスタート動作が100mタイムに及ぼす影響を実際的に考察することが可能になる。

なお、スタート動作を反応時間と動作時間に分けるような詳細な分析のためには、本研究で用いた30frames/s以上の時間分解能のキネマティック手法や、フットスイッチを併用するなどの工夫が必要であろう。

Furusawa et al.の理論式を用いる第2の論点は最高速度の扱いである。この理論式は、最高速度に到達するまでの加速過程の実測値を最小二乗法で近似して算出したものであり、理論的な最高速度（本論文では $v_0 = fga$ の積として提示）に対して無限に接近していく。本研究では、この理論速度が低下しないこと、すなわち、Ward-Smith (1985) のいう「疲労による速度低下に関する指数を含まないこと」に着目した。つまり、Furusawa et al.の理論速度は、疲労による速度低下がないと仮定した場合（生理学的エネルギー供給機構を考えると現実的ではないが）のあくまでも基準値として、100m走後半（最高速度発現後）にも適用した。

これに代わる1つの方法は、実測値の最高速度が出現した時点の理論値速度を用いることである。しかし、本研究において、最高速度の理論値と実測値との間には、 $r=0.88$  ( $p<0.001$ ) の非常に高い相関関係が認められた。さらに、最高速度の発現前と発現後の速度基準をFurusawa et al.の理論式に統一することで、式(4)をより簡便に表現でき、また100m走全般にわたって分析が容易にできるという利点がある。これらの点を考慮して、本研究ではFurusawa et al.の理論速度を用いた。

理論式から導かれる累積速度偏差には時間要素が関与しているので、タイムが遅い被験者ほど低く評価されるという疑念も生じる。この点については、基準とする速度を全被験者で同一にすれば、起こる可能性がある。しかし、本研究において、40mからの10m毎の累積速度偏差と100m走タイムとの相関係数は、有意性の無い0.18から-0.43の間であった。すなわち、タイムの遅い被験者において累積速度偏差による評価が低くなるということは生じなかった。また、区間速度と累積速度偏差との間にも有意な相関関係は無く、区間速度が遅い者ほど累積速度偏差の評価が低くなることは生じなかった。この理由としては、被験者毎に基準となる理論速度を求めたことや、累積速度偏差には速度の低下パターンの影響が大きいことの2つの理由が考えられる。

### 3. 累積速度偏差の時系列的変化

本研究の被験者の平均値でみると、スタートから5m地点までの累積速度偏差は0.47mの高値を示した。これは、この区間において、理論速度より0.47mの遅れが生じていることを表している。この遅れは、特にスタートから1m付近までの疾走速度が、理論値より低値を示したことから生じたものと考えられる。

次の5—10m区間の累積速度偏差は、全区間中で最も低値（ $-0.30 \pm 0.06$ m）を示し、20m区間に至るまで負の値を示した。この負の区間の累積速度偏差の総量は $-0.47$ mとなり、この区間では理論値より0.47m速く走っていることを意味する。その後、正に転じた累積速度偏差は、30m区間に至るまで増加した。これらのことから、本研究ではこの区間を第1加速期と捉えた。

しかし、30—35mの区間では累積速度偏差は、前区間と同値を示し、次の35—40mの区間では前区間に比べて低値を示した。個人別にみた時、多くの被験者の累積速度偏差は、30—40m区間において減少した。この累積速度偏差の減少は、理論値に対して実測値が近づくことで生じていることから、本研究ではこの30—40m区間を第2加速期と捉えた。

安部ほか(1998)は加速期をスタート直後の急激な加速期(加速期1)と最大スピード到達期(加速期2)の2つに区分できるとしている。この加速期の局面区分は、近年の主要なレースにおいて、多くの選手の速度曲線にみられ、しかも、コーチや選手が主観的に感じている局面区分と同様であるとされている。しかしながら、これまでこの局面区分を客観的に決定することは困難であった。その理由は、スタートから最高速度に至るまで継続的に増加する疾走速度について、どこまでが加速期1でどこからが加速期2なのかを明確に区分することが困難であったからである。このため安部らの局面区分を本研究の局面区分と直ちに対応させることはできない。しかし、本研究の手法、すなわち、累積速度偏差が減少(あるいは一定)し始める時点をも第2加速期と定義すれば、スタートから最高速度までの局面を客観的に2つに区分することが可能であり、実証的な局面区分の1つの方法として活用できよう。

最高速度が発現した40m以降の累積速度偏差の変化には、2つの特徴的な変化を確認できた。1つは40—80mに至るまでの上に凸な曲線的増加である。この曲線の増加部分は、最高速度の発現後、速度低下が徐々に生じていく部分である。その後のプラトーな部分(数名の被験者では減少部分)は、理論値に対して実測値が維持される(あるいは近づく)ことで生じる。そこで、本研究ではこの時期を第3加速期と捉えた。一流選手の速度変化を分析したMoravec et al.(1988)や阿江ほか(1994)も、100m走後半の再加速を報告している。しかし、本研究の学生選手では、再加速される事例あるいは速度低下が徐々に生じていく事例等があり、個人差が顕著であった。

最高速度発現後のもう1つの特徴は、80mからゴールに至るまでの累積速度偏差の直線的増加である。40—80m区間の累積速度偏差は2.49mであるのに対し、80—100m区間では2.20mである。つまり、後者の疾走距離は前者より20mも短いにもかかわらず、累積速度偏差の差は約30cmに過ぎなかった。この結果は、本研究の被験者の速度低下は100m走の終盤において著しく増大して

いることを示しており、この区間の走りが大きな課題になっていることが伺える。

以上のように、本研究で定義した累積速度偏差は、100m走中の速度変化の過程を客観的に区分することを可能にした。このため、100m走の記録や最高速度の発現に対して、疾走速度の切り替えがどのように影響しているかをより具体的に分析でき、実践面に利用すればベース配分等の指導もより具体的に実施できるようになるものと考えられる。

#### 4. 累積速度偏差率の有用性

本研究の結果、累積速度偏差率と速度逓減率の相関係数は0.33となり、両者の間にはかなりのばらつきが見受けられた。このことは、同じ速度逓減率であっても、累積速度偏差率に大きな開きがあることを意味する。このばらつきは、本研究で定義した累積速度偏差率が、速度低下の割合だけでなく時間的要因を含み、最高速度発現後の速度変化パターンに大きな個人差が生じたことによるものと考えられる。

100m走タイムと速度変化を表す4指標との単相関分析の結果、最高速度については100m走タイムとの間に1%水準で有意性が認められ、一流選手を対象とした杉田ほか(2000)の結果( $r = -0.957$ ,  $p < 0.001$ )と一致した。この結果は、100m走タイムに及ぼす最高速度の影響の強さを改めて示したものといえる。

一方、持田ほか(1999)は、100m走タイムと速度逓減率との間にも有意性( $r = 0.69$ ,  $p < 0.05$ )を認めた。しかし、本研究においては速度逓減率ばかりでなく累積速度偏差率においても有意性が認められなかった。この一因としては、同じ選手であってもレースによって速度逓減率が異なるという報告(阿江ほか, 1994)にあるように、100m走後半の速度低下が、個人やレース特性によって大きく影響されることが考えられる。また、最高速度が同じであっても100m走タイムには差が生じた理由として、加速の仕方、最高速度の持続時間、減速の程度などの要因が指摘されている(杉田ほか, 2000)。したがって、単相関分析にお

いて、速度逓減率や累積速度偏差率と100m走タイムとの間に相関関係が生じなかったことは、必ずしもこれら指標の有用性を否定するものではない。このため、100m走後半の速度変化を表す指標の有用性を判断するためには、多変量解析を用いて、加速時間や最高速度の影響も考慮しながら、100m走タイムに及ぼす相対的関係を同時に分析する必要がある。

この点について、本研究では重回帰分析の総当たり法を用いて検討した。この方法は、速度変化を表す4指標の組み合わせの中から、100m走タイムを最も高い割合で説明する変数の組み合わせを抽出することができる。また、多重共線性の有無により、安定した回帰式を構成する説明変数の組み合わせを判断することが可能であり、自由度修正済み決定係数によって説明変数の当てはまりの良さを判断することができる。本研究の結果、多重共線性が無く、有意な予測値を示した説明変数は、「最高速度と累積速度偏差率」の組み合わせのみであった。この結果は、本研究で定義した累積速度偏差率が、従来用いられてきた速度逓減率に比べて、より有効に100m走タイムを説明することのできる指標であることを示唆している。そして、自由度修正済み決定係数が0.82であったことから、「最高速度と累積速度偏差率」によって、100m走タイムを非常に高い割合で説明できることが明らかとなった。

なお、本指標の課題は、疾走速度の測定と理論速度の算出に時間がかかり、データフィードバックの即時性に欠ける点である。しかし、この問題は、疾走速度のより簡便な測定方法や、コンピュータプログラムの開発により解決されていくものと思われる。

## V 要 約

本研究では、100m疾走中の速度変化を表す2つの指標を提案し、その有用性を明らかにすることを目的とした。1つの指標は、Furusawa et al.の理論式からの偏倚の程度を距離で示す累積速度偏差である。もう1つの指標である累積速度偏差

率は、最高速度発現後からゴールまでの速度低下の総量を同区間の理論値に対する割合として定義した。

1) 累積速度偏差の有用性を判断するために、5m区間ごとの値を算出し、速度変化の時系列に沿った分析を行った。その結果、スタートから5m地点までの累積速度偏差は、反応時間を含めたスタート技術に関与すると考えられる高値を示した。次の5—10m区間では、累積速度偏差は全区間中で最も低値を示し、30m地点に至るまで増加傾向を示した。しかし、その後の30—35m区間では、累積速度偏差は前区間と同値を示し、次の35—40m区間では、前区間より低値を示した。また、最高速度発現後(40m以降)の累積速度偏差は、80m地点に至るまでの上に凸な曲線の増加と80—100m区間の直線の増加を示した。これらのことから、累積速度偏差は、100m走中の速度変化の過程を客観的に区分することのできる指標であることが示された。

2) 累積速度偏差率の有用性を判断するために、目的変数として100m走タイム、説明変数として最高速度、最高速度の到達時間、速度逓減率、累積速度偏差率を用いた重回帰分析を行った。その結果、多重共線性が無く、有意な予測値を示した説明変数は、「最高速度と累積速度偏差率」の組み合わせだけであった。この結果から、累積速度偏差率は速度逓減率に比べて、速度低下を説明できるより有効な指標であることが示唆された。

## 文 献

- 安部 孝・深代千之(1998)スプリント走における各局面の主要体力要素の研究。バイオメカニクス研究, 2: 316-317.
- Ae, M., Ito, A., and Suzuki, M. (1992) The men's 100 metres. *New Studies in Athletics*, 7: 47-52.
- 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レースパターンの分析—男子を中心に—。佐々木秀幸ほか監修 世界一流競技者の技術。ベースボールマガジン社:東京, pp. 14-28.
- Furusawa, K., Hill, A.V., and Parkinson, J.L. (1927a)

- The Dynamics of "Sprint" Running. Proceedings of the Royal Society of London. Series B102: 29-42.
- Furusawa, K., Hill, A.V., and Parkinson, J.L. (1927b) The energy used in "Sprint" Running. Proceedings of the Royal Society of London. Series B102: 43-50.
- 猪飼道夫・芝山秀太郎・石井喜八 (1963) 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): 59-70.
- 伊藤 章・市川博啓・斉藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・小林寛道 (1998) 100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. 体育学研究, 43: 260-273.
- 岩井雄史・市川博啓・伊藤 章 (1997) 100m 走における疾走速度逓減の要因. 第13回日本バイオメカニクス学会大会編集委員会編 身体運動のバイオメカニクス. pp. 173-177.
- Mero, A. and Peltola, E. (1989) Neural activation fatigued and non-fatigued conditions of short and long sprint running. *Biology of Sport*, 6: 43-57.
- Mero, A. and Komi, P.V. (1990) Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *European Journal Applied Physiology*, 61: 73-80.
- Mero, A., Komi, P.V., and Gregor, R.J. (1992) Biomechanics of Sprint Running. *Sports Medicine*, 13: 376-392.
- 宮畑虎彦・高木公三郎・小林一敏 (1965) スポーツ科学講座8 スポーツとキネシオロジー. 大修館書店: 東京, pp. 154-159, 163-168.
- 持田 尚・小林 諭・繁田 進・有吉正博 (1999) 100m 疾走能力と下肢筋力およびその持久性との関係—各疾走局面に着目して—. 陸上競技研究, 38: 2-14.
- Moravec, P., Ruzica, J., Susanka, P., Dostal, E., Kodejs, M., and Nosek, M. (1988) The 1987 International Athletic Foundation / IAAF Scientific Project Report: time analysis of the 100 metres events at the II World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 3: 61-96.
- 中野正英・尾縣 貢・伊藤道郎・吉武信二 (1991) 100m レース後半の疾走速度逓減を規定する動作要因の検討. 陸上競技研究, 6 (3): 2-7.
- 尾縣 貢・福島洋樹・大山圭悟・安井年文・鍋倉賢治・宮下 憲・関岡康雄・永井 純 (1998) 下肢の筋持久性と400m 走中の疾走速度逓減との関係. 体育学研究, 42: 370-379.
- 宮下充正監修・小林寛道編著 (1990) 走る科学. 大修館書店: 東京, pp. 25-32, 51-56.
- 渋川侃二 (1969) 運動力学 第3版. 大修館書店: 東京, pp. 14-23, 171-172.
- 杉田正明・松尾彰文 (2000) スピード, ピッチおよびストライド. 深代千之ほか編 スポーツバイオメカニクス. 朝倉書店: 東京, pp. 18-20.
- 杉田正明 (2003) 陸上競技・トラックレースの分析について. *バイオメカニクス研究*, 7: 82-88.
- 鈴木義雄 (1937) 小学校児童の短距離疾走運動に関する研究. *千葉医学会雑誌*, 15: 1078-1127.
- 高橋和文・黒川隆志・沖原 謙・崔 勝旭・塩川満久・磨井祥夫 (2001) 100m 走中の区間速度に対する体力要因の相対的貢献度. *スポーツ方法学研究*, 15: 35-43.
- Volkov, N.I. and Lapin, V.I. (1979) Analysis of the velocity curve in sprint running. *Medicine and Science in Sports*, 11: 322-337.
- Ward-Smith, A.J. (1985) A mathematical theory of running, based on the first law of thermodynamics, and its application to the performance of world-class athletes. *Journal of Biomechanics*, 18: 337-349.

(平成15年12月22日受付)  
(平成16年10月16日受理)