

男子 100m 走における記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間

宮代賢治¹⁾, 山元康平¹⁾²⁾, 内藤景³⁾, 谷川聡³⁾, 西嶋尚彦³⁾

¹⁾筑波大学大学院人間総合科学研究科

²⁾日本学術振興会特別研究員

³⁾筑波大学体育系

キーワード: コーチング, 疾走速度, 評価基準, 目標

【要 旨】

本研究の目的は, 男子競技者を対象に 100m 走の記録, 身長, および風速と, 通過時間および区間時間との関係を検証し, 記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式を作成することであった. 日本人男子競技者 112 名(記録範囲は 10.05—11.06s, 身長範囲は 1.64—1.88m, 風速範囲は $-2.2 - +2.0$ m/s)の 100m 走を撮影し, 30m 地点, 60m 地点, および 90m 地点の通過時間と, 30m 地点から 60m 地点, 60m 地点から 90m 地点, および 90m 地点からゴール地点までの区間時間を測定した. ステップワイズ法による重回帰分析の結果, 100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰式が作成された. このことは, 記録だけでなく身長および風速に留意して, 100m 走のレース展開を評価することの重要性を示唆している. これらの重回帰式を用いて, 競技者のレース展開の特徴を, より具体的かつ正確に示すことができる. また, コーチや競技者は重回帰式を利用すれば, 身長別に目標記録を達成するために必要な通過時間および区間時間を想定しながら, 競技者のトレーニングを進めることが可能になる.

スポーツパフォーマンス研究, 7, 356-369, 2015 年, 受付日: 2015 年 8 月 30 日, 受理日: 2015 年 12 月 12 日
責任著者: 宮代賢治 〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1 筑波大学体育系 nmd_mysr@yahoo.co.jp

* * * * *

Average split times and segment times by race time, body height, and wind speed in men's 100-m sprint

Kenji Miyashiro¹⁾, Kohei Yamamoto¹⁾²⁾, Hikari Naito³⁾, Satoru Tanigawa³⁾,
Takahiko Nishijima³⁾

¹⁾ Graduate school of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba

²⁾ Research Fellow of Japan Society for the Promotion of Science

³⁾ Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

Key words: coaching, running speed, evaluation criterion, target

[Abstract]

The present study investigated relationships between 100-m race time, the runners' height, and wind speed, and split times and segment times, and then estimated equations for calculating the average split times and segment times for the 100-m race time, the runners' height, and the wind speed. For this analysis, videos of 100-m sprints by 112 Japanese male sprinters (100-m race time: 10.05-11.06 s, height: 1.64-1.88 m, wind speed: -2.2 - +2.0 m/s) were shot with 3 digital video cameras (299.7 fps) during 1 entire race. Split times at the 30-m, 60-m, and 90-m marks, and segment times from the 30-m to 60-m, 60-m to 90-m, and 90-m to 100-m marks were measured using those video images. Multiple regression equations were prepared for all split times and segment times, using multiple regression analyses with stepwise procedure for each time segment as dependent variables, and the 100-m race time, runners' height, and wind speed as independent variables. The results were estimated equations for calculating the average split times and segment times by 100-m race time, runners' height, and wind speed in the men's 100-m sprint. By using multiple regression equations, the race content feature of each sprinter can be presented specifically and accurately. In addition, using the equations, each sprinter can be coached in training that simulates the necessary race content of the target 100-m race time in relation to the runner's height.

I. 緒言

競技スポーツにおけるパフォーマンスの向上は、適切なトレーニングマネジメントを推進することによって可能となる(図子, 2000). 陸上競技の 100m 走の場合, 競技会のレース内容について, 競技者の現状を正確に把握し, 適切な目標設定を行うことは, 必要なマネジメントの 1 つである(図子, 2009). 現状を正確に把握し, 適切な目標設定を行うことができれば, 競技者の問題点をより正確に診断でき, その解決のための様々なトレーニング課題を設定できる. 現状把握と目標設定を行うためには, 評価基準値および目標値を設定することが必要になる(図子, 2000). この時, どのような指標を利用するかに関しては, 100m 走の運動特性と実用性を考慮することが重要であると考えられる.

100m 走は, 急激な加速を伴う第 1 加速局面, 最高疾走速度に到達するまでの比較的緩やかな加速を伴う第 2 加速局面, 速度維持局面, および減速局面の 4 つの走行局面に大別されることが多い(天野, 2012; 土江, 2009). 指導書(土江, 2009)には, 概ねスタート地点から 30m 地点までが第 1 加速局面, 30m 地点から 60m 地点までが第 2 加速局面, 60m 地点からゴール地点までが速度維持局面および減速局面として扱われている. また, 指導書(清水, 2006; 土江, 2009, 2011)には, 各局面の走力強化を目的として, 30m や 60m などの距離を利用したスプリントトレーニング種目が推奨されている. 実際に競技者は, 主にこれらの距離を利用した種目(クラウチング, スタンディング, 助走スタートによる 30m 走, 60m 走, 90m 走など)をトレーニングに取り入れている(朝原, 2009; 伊東, 2003; 豊田, 2014). この時, トレーニングの現場では各局面の走力を表す指標として, 走行距離の所要時間を利用することによりトレーニングマネジメントが進められる(宮川, 1992; 土江, 2011). したがって, 競技会の 100m 走においても, 具体的な評価や目標設定を行うために, 各局面における走力の評価基準値および目標値を示すことが必要である. そして, トレーニングにおいて実用的なこれらの時間を, 走力の指標として利用することが良いと考えられる.

100m 走の先行研究(阿江ほか, 1994)では, 記録を独立変数, レース途中(30m 地点, 60m 地点, 80m 地点)の通過時間と区間時間をそれぞれ従属変数とする単回帰式が報告されている(この種の回帰分析は予測することを目的としているので, 因果関係を扱わない). これら単回帰式の推定値は, 横断的データの統計分析により示されたものであるため, 記録別の標準通過時間および標準区間時間と捉えられる(本研究では“標準”を, 普通, 平均的であること, と定義する). すなわち, これらの推定値は各局面における走力の評価基準値および目標値としての役割を担う.

一方, 実際の観測事例を参照すると, 標準時間とは著しく異なる事例も多く, 記録以外の要因によって 100m 走の通過時間および区間時間は変化する. 本研究では, その中でも身長および風速の 2 つは, 100m 走の通過時間および区間時間を変化させる要因であるとの仮説を立てた. まず身長に関して, 仮説を支持する事例として, Bolt 選手が 9.58s(世界記録, 2015 年 8 月現在)をマークした時の 60m 地点の通過時間(以下, 「 T_{60} 」と略す)を見ると, 6.31s である(Graubner and Nixdorf, 2011). これは, 阿江ほか(1994)の単回帰式($y = 0.508x + 1.40$, x : 100m 走の記録)による推定値(6.27s)と比較して長い. 他に, Powell 選手が 9.77s(元世界記録, 2005—2008 年)をマークした時には 6.39s(野口, 2008), Lewis 選手が 9.86s(元世界記録, 1991—1994 年)をマークした時には 6.46s(阿江ほか, 1994)であり, それぞれ推定値(6.36, 6.41s)よりも長い. これら 3 名の身長は, それぞれ順に 1.96m, 1.90m, 1.88m(野口・千田, 2013)であり, 阿江ほか(1994)の対象者 19 名の身長(阿江ほか, 1994; Olympics at Sports-

Reference.com)の平均値(1.808m)と比較して高い。この平均値より低いDrummond選手, 桐生選手, 江里口選手(それぞれの身長は 1.75m, 1.75m, 1.70m, 野口・千田, 2013)が, それぞれ 9.96s, 10.01s, 10.07s をマークした時の T_{60} は, それぞれ 6.38s (Graubner and Klockmann, 2009), 6.45s (谷川・内藤, 2015), 6.48s (松尾ほか, 2010b) であり, 阿江ほか(1994)の推定値(それぞれ 6.46s, 6.49s, 6.52s)より短い。すなわち, 100m 走の記録が同じ場合に, 身長が低いほど T_{60} が短く, 身長が高いほど 60m 地点からゴール(100m)地点までの区間時間(以下, 「 T_{60-100} 」と略す)が短いレース展開であることを, 本研究ではさらに仮説とした。次に, 風速に関する事例として, 共に 10.20s をマークし, 身長が 1.80m である塚原選手と高平選手(Olympics at Sports-Reference.com)の T_{60} は, それぞれ 6.57s, 6.62s である(松尾ほか, 2009, 2010a)。この時の風速は, それぞれ向かい風 0.1m/s, 追い風 2.7m/s(以下, 向かい風を「-」, 追い風を「+」と略す)である。すなわち, 100m 走の記録が同じ場合に, 風速条件が良いほど T_{60} が長く, T_{60-100} が短いレース展開であった。一般的に疾走速度と風速との相対速度が大きいほど空気抵抗は大きく, また 100m 走ではレース中の疾走速度は一定ではない。それゆえ, レースの風速条件の違いが通過時間および区間時間へ及ぼす影響は, 疾走速度が高い局面ほど大きい。したがって, 100m 走の記録が同じ横断的データの場合には, 観測事例のように風速条件が良いほど疾走速度が高い局面の区間時間が短いレース展開であることも, 本研究では仮説とした。身長および風速のみが通過時間および区間時間を変化させるわけではないが, 以上のことから, 多数の競技者から成る横断的データを用いて, 記録とともに身長および風速と, 通過時間および区間時間との関係を統計的に検証することにより, 評価基準値および目標値として 100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式を新たに作成できると考えられる。

通過時間および区間時間は相当の走行距離における平均疾走速度と同義であり, より直接的にはステップ頻度とステップ長や, 疾走動作などの技術指標によって変化する。その一方, 身長がこれらの技術指標を著しく制限する(阿江, 2001; 岡野ほか, 1988; Paruzel-Dyja et al., 2006)。身長は, 競技者の形態的個人特性を表す指標として容易に利用でき, 100m 走の競技者においてその範囲は 1.60m から 1.96m に及ぶ(野口・千田, 2013)。しかしながら, 同一競技者の身長はトレーニングによって変化することはない。身長および風速は, どちらもコーチや競技者が支配できない要因である。したがって, 100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式を作成することは, 競技者の各局面における走力の相対評価および目標設定をより具体的かつ適切に行うために, 有益であると考えられる。しかし, これまでに記録, 身長, および風速を同時に扱って, 100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式の作成を試みた研究は見当たらない。

本研究では, 男子競技者を対象に 100m 走の記録, 身長, および風速と, 通過時間および区間時間との関係を検証し, 記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式を作成することを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

対象者は, 国内で開催された公認競技会の 100m 走に出場した日本人男子競技者 112 名であった。対象者の年齢, 身長, 分析した 100m 走の記録, その時の風速の平均値 \pm 標準偏差(範囲)は, そ

れぞれ 22.2 ± 2.6 (19—33) 歳, 1.741 ± 0.050 (1.64—1.88) m, 10.592 ± 0.216 (10.05—11.06) s, $+0.39 \pm 1.08$ (-2.2 — +2.0) m/s であった.

2. 100m 走の撮影

宮代ほか(2013)に準拠して, 100m 走の 30m 地点(女子 100mH 走の第 3 ハードル設置マーク), 60m 地点(400mH 走の第 10 ハードル設置マーク), および 90m 地点(4×400mR の第 3, 4 走者のテーク・オーバー・ゾーン入口地点ライン)の側方上の観客席から, 各地点 1 台で計 3 台のデジタルカメラ(Casio 社製, EX-F1, フレームレート:299.7fps)を用いて, 対象者をスタートからゴールまでそれぞれ追従撮影した. そのうち少なくとも 1 台のカメラは, スタート信号器の紙雷管煙もしくはスタートピストルの閃光を, スタート時点として撮影した後, 対象者を追従撮影した. なお, 天候, 日時, および撮影地点(閃光を撮影するか否か等)などの条件に応じて, カメラの絞り値, シャッタースピード, ISO 感度, および画角を変更した.

3. 測定項目および算出方法

撮影によって保存された動画ファイルの形式は MOV であった. QuickTime Player (Apple 社製)を用いて動画のフレーム番号を表示し, 以下の測定項目を算出した. 算出する際に, 3 台のカメラの動画における対象者の同一ステップの接地を同時点として, 動画を同期した.

(1) 通過時間

30m 地点の通過時間(以下, 「 T_{30} 」と略す)は, 対象者のトルソーが 30m 地点を通過する時点のフレームを目視で判定し, そのフレーム番号とスタート時点のフレーム番号との差を, フレームレートで除した値とした. 同様に, T_{60} および 90m 地点の通過時間(以下, 「 T_{90} 」と略す)を算出した.

(2) 区間時間

30m 地点から 60m 地点, 60m 地点から 90m 地点, 90m 地点からゴール(100m)地点までの区間時間(以下, 「 T_{30-60} 」, 「 T_{60-90} 」, 「 T_{90-100} 」と略す)を, それぞれ T_{60} と T_{30} との差, T_{90} と T_{60} との差, 記録と T_{90} との差として算出した.

4. 統計処理

100m 走の記録と T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100} との関係を検証するために, 相関係数(r)を算出し, 有意性の検定を行った.

先行研究(阿江ほか, 1994; 宮代ほか, 2013)では, 100m 走の記録と通過時間および区間時間との間に非常に強い相関関係が認められており, 本研究においても同様の結果が予測される. それゆえ, 身長と T_{30} との関係および風速と T_{30} との関係をより正確に検証する際には, 100m 走の記録による影響を取り除く必要がある. したがって本研究では, 100m 走の記録を制御変数(z)として, 身長(x)と T_{30} (y)との偏相関係数($r_{xy \cdot z}$)および風速と T_{30} との偏相関係数を算出し, それぞれ有意性の検定を行った. T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100} についても, それぞれ身長あるいは風速との偏相関係数を算出し, 有

意性の検定を行った。

記録・身長・風速別の標準 T_{30} を算出するために、記録、身長、および風速を独立変数とし、 T_{30} を従属変数とするステップワイズ法による重回帰分析を行った。ステップワイズ法における変数選択の方法は、変数増減法であった。また、ステップワイズ法における独立変数を選択する基準は F 値の確率とし、投入条件は、 $p = 0.05$ 、除外条件は、 $p = 0.10$ に設定した。同様に、 T_{60} 、 T_{90} 、 T_{30-60} 、 T_{60-90} 、および T_{90-100} を、それぞれ従属変数とするステップワイズ法による重回帰分析を行った。

本研究の有意水準 (α) は 5 %とした。統計分析にはアプリケーションソフトウェア IBM (R) SPSS (R) Statistics Version 21 for Windows を用いた。

III. 結果

T_{30} 、 T_{60} 、 T_{90} 、 T_{30-60} 、 T_{60-90} 、および T_{90-100} の平均値 \pm 標準偏差 (範囲) は、それぞれ 3.994 ± 0.065 (3.85—4.16) s, 6.788 ± 0.119 (6.51—7.08) s, 9.613 ± 0.189 (9.15—10.04) s, 2.794 ± 0.062 (2.63—2.93) s, 2.826 ± 0.079 (2.64—3.00) s, 0.979 ± 0.031 (0.90—1.05) s であった。

100m 走の記録と T_{30} 、 T_{60} 、 T_{90} 、 T_{30-60} 、 T_{60-90} 、および T_{90-100} との間には、有意な相関関係が認められた。相関係数 (r) は、それぞれ 0.830, 0.956, 0.997, 0.972, 0.951, 0.877 ($p < 0.05$) であった。Figure 1 の上行に、これら関係の散布図行列を示した。いずれの関係においても、直線関係であることが視認された。

身長と T_{30} 、 T_{60} 、 T_{90} 、 T_{60-90} 、および T_{90-100} との間には、有意な偏相関関係が認められた。偏相関係数 ($r_{xy \cdot z}$) は、それぞれ 0.283, 0.294, 0.238, -0.278, -0.238 ($p < 0.05$) であった。風速と T_{30} 、 T_{60} 、 T_{30-60} 、および T_{60-90} との間には、有意な偏相関関係が認められた。偏相関係数 ($r_{xy \cdot z}$) は、それぞれ 0.317, 0.232, -0.231, -0.321 ($p < 0.05$) であった。Figure 1 の中行・下行に、これら関係の散布図行列を示した。いずれの関係においても、概ね直線関係であることが視認された。

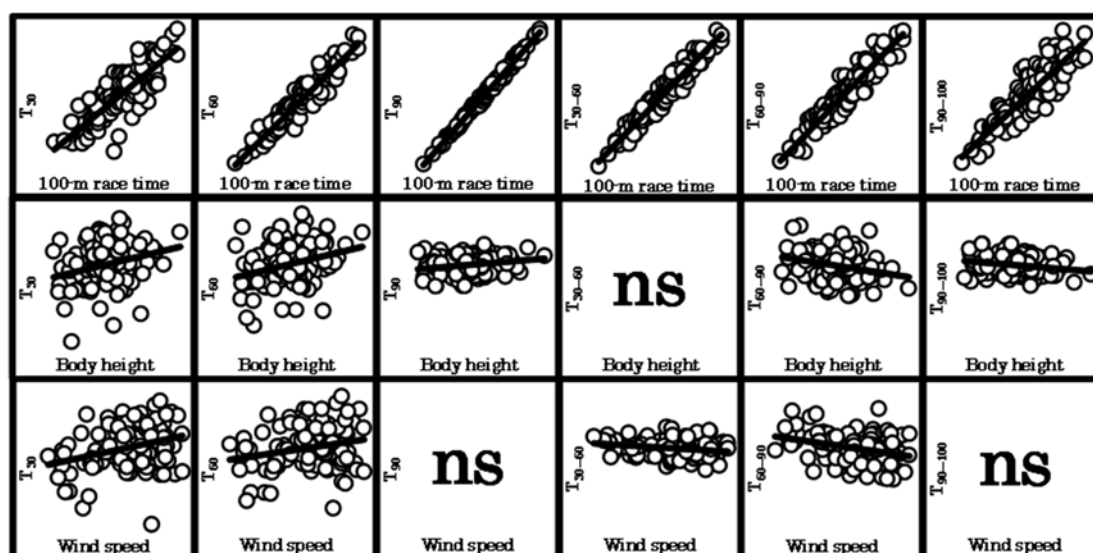


Figure 1 Scatter diagram matrix of relationships between each of 100-m race time, body height, and wind speed and each of split times and segment times

† Partial correlation with controlled variable of 100-m race time in scatter diagrams of middle and lower

†† T_{30} , T_{60} , T_{90} : Split times at the 30-m , the 60-m , and the 90-m marks

T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100} : Segment times from 30-m to 60-m , from 60-m to 90-m , and from 90-m to 100-m marks

Table 1 は, 記録・身長・風速別の標準 T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100} を算出する重回帰式, 推定値の標準誤差, および決定係数(自由度調整済み決定係数ではない)を示している。

T_{30} , T_{60} , および T_{60-90} では, 記録, 身長, および風速の 3 変数を独立変数とする有意な重回帰式が得られた(Table 1 の (A), (B), (E)). そのうち T_{30} および T_{60} では, 記録, 身長, および風速の値が小さいほど, 重回帰式の推定値は小さかった。一方, T_{60-90} では, 記録の値が小さいほど, 重回帰式の推定値は小さかったが, 身長および風速の値が小さいほど, 重回帰式の推定値は大きかった。記録, 身長, および風速の 3 変数で, T_{30} の 74.46 %, T_{60} の 92.61 %, T_{60-90} の 92.21 % を説明した。

T_{90} および T_{90-100} では, 記録および身長の 2 変数を独立変数とする有意な重回帰式が得られた(Table 1 の (C), (F)). そのうち T_{90} では, 記録および身長の値が小さいほど, 重回帰式の推定値は小さかった。一方, T_{90-100} では, 記録の値が小さいほど, 重回帰式の推定値は小さかったが, 身長の値が小さいほど, 重回帰式の推定値は大きかった。記録および身長の 2 変数で, T_{90} の 99.41 %, T_{90-100} の 78.25 % を説明した。

T_{30-60} については, 記録および風速の 2 変数を独立変数とする有意な重回帰式が得られた(Table 1 の (D)). 記録の値が小さいほど, 重回帰式の推定値は小さかったが, 風速の値が小さいほど, 重回帰式の推定値は大きかった。記録および風速の 2 変数で T_{30-60} の 94.72 % を説明した。

Table 1 Multiple regression equations to calculate the average split times and segment times by 100-m race time, body height, and wind speed, standard error of estimate, and determination coefficient

	Dependent variable (unit)	Multiple regression equation	SEE	R ²
(A)	T_{30} (s)	$Y = 0.2637 X_1 + 0.2052 X_2 + 0.0107 X_3 + 0.8390$	* 0.0334	0.7446
(B)	T_{60} (s)	$Y = 0.5394 X_1 + 0.2058 X_2 + 0.0075 X_3 + 0.7125$	* 0.0330	0.9261
(C)	T_{90} (s)	$Y = 0.8755 X_1 + 0.0717 X_2 + 0.2149$	* 0.0147	0.9941
(D)	T_{30-60} (s)	$Y = 0.2757 X_1 - 0.0032 X_3 - 0.1252$	* 0.0144	0.9472
(E)	T_{60-90} (s)	$Y = 0.3363 X_1 - 0.1342 X_2 - 0.0072 X_3 - 0.5003$	* 0.0223	0.9221
(F)	T_{90-100} (s)	$Y = 0.1245 X_1 - 0.0717 X_2 - 0.2149$	* 0.0147	0.7825

† T_{30} , T_{60} , T_{90} : Split times at the 30-m, the 60-m, and the 90-m marks
 T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100} : Segment times from 30-m to 60-m, from 60-m to 90-m, and from 90-m to 100-m marks

†† X_1 : 100-m race time (s), X_2 : Body height (m), X_3 : Wind speed (m/s), * : $p < 0.05$ ($n = 112$),
 SEE : Standard error of estimate, R^2 : Determination coefficient, not adjusted for the degrees of freedom

IV. 考察

1. 記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰式と推定精度

本研究の目的は, 男子競技者を対象に 100m 走の記録, 身長, および風速と, 通過時間および区間時間との関係を検証し, 記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式を作成することであった。

100m 走の先行研究(阿江ほか, 1994)では, 記録とレース途中の通過時間および区間時間との間に

強い相関関係が認められている。本研究においても、記録と各通過時間および各区分時間との間に有意に強い相関関係が認められた ($r = 0.830-0.997, p < 0.05$)。これらの結果は先行研究とおおよそ一致し、記録が良いほど通過時間および区分時間が短い傾向であった。また、記録、身長、および風速のそれぞれが、各通過時間および各区分時間との間に直線関係を示したこと (Figure 1) は、100m 走の記録、身長、および風速を独立変数、各通過時間および各区分時間を従属変数とする重回帰分析によって、記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区分時間を算出する推定式の作成が可能であることを示している。

ステップワイズ法による重回帰分析の結果得られた重回帰式における身長の回帰係数を見ると、 T_{30} 、 T_{60} 、および T_{90} では正の回帰係数であることから (Table 1 の (A)–(C))、記録および風速が同じ場合、身長が低いほど標準 T_{30} 、標準 T_{60} 、および標準 T_{90} が短い関係である。 T_{60-90} および T_{90-100} では負の回帰係数であるので (Table 1 の (E), (F))、記録および風速が同じ場合、身長が高いほど標準 T_{60-90} および標準 T_{90-100} が短い関係である。実際に、重回帰式の推定値を算出すると、先行研究の単回帰式による推定値とは異なり、身長が高いほど標準 T_{30} 、標準 T_{60} および標準 T_{90} が長く、標準 T_{60-90} および標準 T_{90-100} が短い関係であることがわかる (Table 2)。

Table 2 Estimate values from previous studies and the present study (in the case of 10.50s of 100-m race time)

100-m race time (s)	Measurement items	Estimate value (s)						
		Ae et al. (1994)	Miyashiro et al. (2013)	The present study				
				Wind speed (m/s)				
			-2.0	0.0	+2.0			
10.50	T_{30}	3.98	3.97	Body height (m)	1.64	3.92	3.94	3.97
					1.76	3.95	3.97	3.99
					1.88	3.97	3.99	4.02
	T_{60}	6.73	6.74		1.64	6.70	6.71	6.73
					1.76	6.72	6.74	6.75
					1.88	6.75	6.76	6.78
	T_{90}	—	9.53		1.64	9.53	9.53	9.53
					1.76	9.53	9.53	9.53
					1.88	9.54	9.54	9.54
	T_{30-60}	2.76	2.77	1.64	2.78	2.77	2.76	
				1.76	2.78	2.77	2.76	
				1.88	2.78	2.77	2.76	
	T_{60-90}	—	2.79	1.64	2.83	2.81	2.80	
				1.76	2.81	2.79	2.78	
				1.88	2.79	2.78	2.76	
	T_{90-100}	—	0.97	1.64	0.97	0.97	0.97	
				1.76	0.97	0.97	0.97	
				1.88	0.96	0.96	0.96	

† T_{30} , T_{60} , T_{90} : Split times at the 30-m, the 60-m, and the 90-m marks

T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100} : Segment times from 30-m to 60-m, from 60-m to 90-m, and from 90-m to 100-m marks

†† Estimate values of Ae et al. (1994) and Miyashiro et al. (2013) are calculated by their single regression equations

††† Estimate values of the present study are calculated by multiple regression equations in Table 1

すなわち本研究結果は、100m 走全体のパフォーマンス(記録)および風速が同じ場合、身長が低いほどスタート地点から30m 地点までの平均疾走速度が高く、身長が高いほど60m 地点からゴール(100m) 地点までの平均疾走速度が高い傾向を示すものである。永原・凶子(2014)は、身長と比例関係にある脚長が、全力疾走の初期加速局面において、加速度との間に比較的高い負の相関係数を示すことを報告している。彼らは、脚長が長いことでステップ頻度の増加が困難であり、脚長はスタート直後の加速に対して負の作用を持つと考察している。また先行研究(Paruzel-Dyja et al., 2006;宮代ほか, 2013)では、100m 走において身長が低いほどステップ頻度が高いことが報告されている。したがって、本研究において記録および風速が同じ場合に、身長が低いほどスタートから30m 地点までの平均疾走速度が高い傾向を示すのは、この区間において身長が低いほど急激なステップ頻度の増加と高いステップ頻度の発揮により、大きな加速を得ているためであると推察される。なお、本研究では身長が標準 T_{60} を算出する重回帰式の独立変数に選択されており、記録および風速が同じ場合、身長が低いほど加速局面全体(スタート地点から60m 地点まで)の平均疾走速度が高い傾向も示している。しかし、 T_{60} は T_{30} を含む時間であることや、標準 T_{30-60} を算出する重回帰式の独立変数に身長が選択されていないことから、身長が標準 T_{60} を算出する重回帰式の独立変数に選択されていることは、身長と T_{30} との関係による影響を受けるために生じていると考えられる。同じく標準 T_{90} についても、身長が標準 T_{90} を算出する重回帰式の独立変数に選択されていることは、身長と T_{30} との関係による影響を受けるために生じていると考えられる。一方、速度維持局面および減速局面では、ステップ頻度の低下によって疾走速度が低下する(遠藤ほか, 2008)。また宮代ほか(2013)によれば、100m 走の記録が同じ場合には、身長が高いほどステップ頻度が低いものの、概ね速度維持局面および減速局面に相当する60m 地点以降の区間では、身長が高いほどステップ頻度の低下量が小さい傾向である。それゆえ、本研究において記録および風速が同じ場合には、身長が高いほど60m 地点からゴール(100m) 地点までの平均疾走速度が高い傾向であると考えられる。

次に、風速の回帰係数を見ると、 T_{30} および T_{60} では正の回帰係数であることから(Table 1の(A),(B))、記録および身長が同じ場合には、風速条件が良いほど標準 T_{30} および標準 T_{60} が長い関係である。 T_{30-60} および T_{60-90} では負の回帰係数であるので(Table 1の(D),(E))、記録および身長が同じ場合には、風速条件が良いほど標準 T_{30-60} および標準 T_{60-90} が短い関係である。実際に、重回帰式の推定値を算出すると、先行研究の単回帰式による推定値とは異なり、風速条件が良いほど標準 T_{30} および標準 T_{60} が長く、標準 T_{30-60} および標準 T_{60-90} が短い関係であることがわかる(Table 2)。ところで、記録および身長が同じ場合に、風速条件が良いほど標準 T_{30} および標準 T_{60} が長い関係であることは、同一競技者において風速条件が良いほど疾走速度が高いこと(Linthorne, 1994)を考えると、誤りであるようにも思われる。しかし、この関係は妥当である。その根拠を、具体例と先行研究を用いて以下に考察する。Table 3の(A)―(C)に、3例の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を示した。

Table 3 Three cases of average split times and segment times by 100-m race time, body height, and wind speed and differences of time between three cases

Case	Plugged value			Average time					
	100-m race time (s)	Body height (m)	Wind speed (m/s)	T ₃₀ (s)	T ₆₀ (s)	T ₉₀ (s)	T ₃₀₋₆₀ (s)	T ₆₀₋₉₀ (s)	T ₉₀₋₁₀₀ (s)
(A)	10.50	1.76	-2.0	3.95	6.72	9.53	2.78	2.81	0.97
(B)	10.50	1.76	+2.0	3.99	6.75	9.53	2.76	2.78	0.97
(C)	10.28	1.76	+2.0	3.93	6.64	9.34	2.70	2.71	0.94
Difference of 100-m race time (s)			Difference of Average time						
			T ₃₀ (s)	T ₆₀ (s)	T ₉₀ (s)	T ₃₀₋₆₀ (s)	T ₆₀₋₉₀ (s)	T ₉₀₋₁₀₀ (s)	
(A) - (B)	0.00		-0.04	-0.03	0.00	0.02	0.03	0.00	
(A) - (C)	0.22		0.02	0.08	0.19	0.08	0.10	0.03	
(B) - (C)	0.22		0.06	0.11	0.19	0.06	0.07	0.03	

† T₃₀, T₆₀, T₉₀ : Split times at the 30-m, the 60-m, and the 90-m marks
 T₃₀₋₆₀, T₆₀₋₉₀, T₉₀₋₁₀₀ : Segment times from 30-m to 60-m, from 60-m to 90-m, and from 90-m to 100-m marks

†† Average times are estimated values of multiple regression equations in Table 1

††† Plugged values in multiple regression equations in Table 1

ここでは、その中で 100m を 4 区間に分割した T₃₀, T₃₀₋₆₀, T₆₀₋₉₀, および T₉₀₋₁₀₀ の標準時間に着目する。まず、(B) と (C) は、身長および風速が同じで記録のみが異なるので、異なる競技力を有する競技者のための標準時間といえる。(B) と(C) との時間差を算出すると、T₃₀ および T₃₀₋₆₀ では、共に 0.06s である。T₆₀₋₉₀ では 0.07s, T₉₀₋₁₀₀ では 0.03s (区間距離が 30m であれば、0.09s に相当する) と、時間差がやや増加する。これは、100m 走の記録が良いほど最高疾走速度が高いだけでなくその到達距離が長い傾向になることで(天野, 2012), ゴールに近づくほど記録が良い競技者と記録が悪い競技者の疾走速度の差が大きくなる傾向にあることが考えられ、そのことが反映されているためだろう。したがって、(B) と(C) との時間差は、記録の差を反映した結果として妥当なものであると考えられる。続いて、(A) と (B) を参照すると、両者は記録および身長が同じものの、風速が異なる標準時間である。同一競技者では風速条件が良いほど記録が良いので(Linthorne, 1994), 記録が同じであっても(A) が、(B) と比較して高い競技力を有する競技者のための記録・身長・風速別の標準時間であるといえる。-2.0m/s の風速条件で 10.50s をマークする競技者は、+2.0m/s の風速条件であれば理論的には 10.28s にまで記録を短縮する(Linthorne, 1994)。つまり、(A) と (C) は、異なる記録であるものの同じ競技力を有する競技者のための記録・身長・風速別の標準時間であるといえる。ここで、(A) と (C) との時間差を算出すると、T₃₀ では 0.02s, T₃₀₋₆₀ では 0.08s, T₆₀₋₉₀ では 0.10s, そして T₉₀₋₁₀₀ では 0.03s であった。すなわち、区間距離が同じでも時間差が著しく異なった。区間距離および区間時間の長さを考慮すると、T₃₀ への風速差の影響が最も小さいといえる。この時、(A) および(C) の各区間における平均疾走速度を算出すると、両者の T₃₀ における平均疾走速度(それぞれ、7.60m/s, 7.63m/s)は、他区間(それぞれ、10.35—10.81m/s, 10.65—11.10m/s)と比較して著しく低い。また、競技者に作用する空気抵抗は、疾走速度と風速との相対速度が大きいほど、大きい(Linthorne, 1994)。これらのことから、疾走速度が低い区間ほど風速差の影響が小さいといえ、平均疾走速度が最も低い T₃₀ への風速差の影響が最も小さい

という結果は妥当なものであると考えられる。一方、 T_{60-90} においては、 T_{30-60} よりも平均疾走速度がやや低いにもかかわらず、より大きな (A) と (C) との時間差 (0.10s) を示した。これは、風速だけでなく、100m 走の記録が良い競技者と記録が悪い競技者の最高疾走速度の到達距離に差があること (天野, 2012) に起因して、ゴールに近づくほど記録が良い競技者と記録が悪い競技者の疾走速度の差が大きくなるという影響も受けているためであるだろう。したがって、(A) と (C) との時間差は、風速および記録の差を反映した結果として妥当なものであると考えられる。これに (B) と (C) との時間差の結果およびその考察を加えると、(A) と (B) において、同記録および同身長であっても、風速条件が良い (B) において、より長い標準 T_{30} および標準 T_{60} を示すことも妥当であると考えられる。また、このように記録および身長が同じ場合に、風速条件が良いほど標準 T_{30} および標準 T_{60} が長い関係であるのは、同じ記録だとしても、風速条件が良いほど風速の影響を排除して示される 100m 走の記録が悪い関係であること (Linthorne, 1994) が影響するためであると考えられる。以上より、Table 3 の (A)―(C) の各標準時間や、本研究結果の記録および身長が同じ場合に、風速条件が良いほど標準 T_{30} および標準 T_{60} が長い関係であることは、適切なものであると考えられる。なお、 T_{90} および T_{90-100} については、風速が重回帰式の独立変数として選択されなかった (Table 1 の (C), (F))。これは、競技者のゴール付近のフィニッシュ姿勢などの技術的要因による時間変動や、100m 走における記録の測定単位 (1/100s) が各通過時間および各区分時間の測定精度 (1/299.7s) よりも大きいことによる影響を受けたためであると推察される。

最後に、得られた各重回帰式の推定精度に着目し、その評価を行った。まず決定係数の範囲は 0.7446—0.9941 であった (Table 1)。ステップワイズ法により得られた重回帰式の決定係数であるため、これらの値は、先行研究 (阿江ほか, 1994; 宮代ほか, 2013) のように、記録のみを独立変数とした単重回帰式の決定係数よりも高い。また、もう 1 つの推定精度指標である推定値の標準誤差を見ると、その範囲は 0.0144—0.0334s であった (Table 1)。同じくこれらの値は、記録のみを独立変数とした単重回帰式の推定値の標準誤差より小さい。加えて、本研究では 112 名の競技者を対象としている。以上より、本研究の各重回帰式は、記録に加え、身長および風速あるいはどちらか一方に対応して高い精度の推定値を算出するものであるといえ、信頼性の高い記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区分時間を算出する重回帰式が新たに作成されたものと考えられる。ただし、各重回帰式における独立変数の寄与率は 100% ではないので、記録、身長、および風速以外のレースパターンに影響する諸要因 (レースの戦略、形態や筋力などの体力・運動能力的要因、疾走動作などの技術的要因、その他の環境的要因など) も標準通過時間および標準区分時間に影響を及ぼしていると考えられる。本研究では、それら要因を扱っておらず、そのことを今回の測定値から検証することは不可能であるが、今後の課題として検証を行うことが必要である。身長は身体の大きさを表す基本的指標であり、それら諸要因に関係するので、本研究成果は、そのような発展的研究の前段階の研究成果として意義があると思われる。

2. 重回帰式の適用範囲

本研究の重回帰式は、記録範囲が 10.05—11.06s、身長範囲が 1.64—1.88m、風速範囲が -2.2 — $+2.0$ m/s の日本人男子競技者 112 名を対象にして作成されたものであることから、各範囲内における記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区分時間の精度は保証されていると考えられる。しかし、範囲外で算出すると誤差が大きくなる可能性がある。今後、範囲外においても多数の事例データを収集

することによって、より広範囲にわたる記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式を作成することが課題である。また、本研究では19—33歳の男子競技者を対象としていたの女子競技者、発育段階の競技者、および一般人を対象に多数のデータを収集し、推定式を作成することも必要な課題である。

3. コーチングへの示唆

本研究結果より、100m 走の記録だけでなく、身長および風速によって標準通過時間および標準区間時間に変化することが明らかになり、記録だけでなく身長および風速に留意して、100m 走のレース展開を評価することの重要性が示唆された。

100m 走では、各競技者の記録だけでなく記録の中身であるレース展開を評価することも必要であろう。記録のより客観的な評価は、Linthorne(1994)が風速の影響を排除した100m 走の記録を算出する推定式($T_0 = T + \alpha (Vw - \beta Vw^2)$, T_0 :風速の影響を排除した記録 (s), T :公式記録 (s), $\alpha = 1 / 18 (s^2/m)$, Vw :風速 (m/ s), $\beta = 1 / 20 (s/ m)$)を作成しているの、この推定式を利用することにより可能である。レース展開のより客観的な評価は、本研究の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰式(Table 1)を利用することにより可能である。これら重回帰式を利用すれば、これまで身長や風速による影響を受けて曖昧になっていた競技者 1 人ひとりのレース展開の特徴を、より具体的かつ正確に示すことができる。また、単純な重回帰式であるので、コーチや競技者自身がレース展開の特徴を示すことを容易に行えらる。例えば、競技会で1台の市販されている標準カメラを用いて T_{60} を測定し、標準 T_{60} との差から、特徴を示すという手順である。 T_{60} を測定することは、同時に T_{60-100} を測定することにもなる。記録が9—11s 台の競技者では、概ねスタート地点から60m 地点までが加速局面、60m 地点からゴール(100m) 地点までが速度維持局面および減速局面(天野, 2012; 松尾ほか, 2014)に相当する。したがって、測定値と標準 T_{60} との差や測定値と標準 T_{60-100} (記録-標準 T_{60}) との差から、対象競技者の加速能力および速度維持能力の特徴(その能力に優れているか否か)を、記録、身長、および風速を考慮して示すことができる。重回帰式の推定値の±標準誤差以内に全体の約70%, ±2 標準誤差以内に全体の約95%が収まるので、それらの利用により特徴の程度も把握できる。また、縦断的分析により、記録の変化に伴い、どの局面の走力が相対的かつ優先的に変化したのか、どの局面で風速による影響を強く受けたかという縦断的特徴を示すことも、測定値と標準時間との比較により可能であり、より明確な課題設定のために役立つであろう。今後、縦断的分析により、100m 走の通過時間および区間時間の特徴が変化するか否かを検証することも必要である。さらに、目標とする記録の標準時間やその標準誤差、対象競技者のレースおよびレース以外の特徴等をコーチが総合的に評価することにより、身長別に目標記録を達成するために必要なレース展開を想定しながら、トレーニングを進めることが可能になると考えられる。

V. まとめ

本研究の目的は、男子競技者を対象に100m 走の記録、身長、および風速と、通過時間および区間時間との関係を検証し、記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式を作成することであった。分析の結果、 T_{30} , T_{60} , および T_{60-90} をそれぞれ従属変数とし、記録、身長、およ

び風速の3変数を独立変数とする有意な重回帰式が得られた。また、 T_{90} および T_{90-100} をそれぞれ従属変数とし、記録および身長の変数を独立変数とする有意な重回帰式が得られた。さらに、 T_{30-60} を従属変数とし、記録および風速の2変数を独立変数とする有意な重回帰式が得られた。すなわち、記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰式を作成できた。このことから、記録だけでなく身長および風速に留意して、100m走のレース展開を評価することの重要性が示唆された。また、重回帰式を用いて、競技者1人ひとりのレース展開の特徴を、より具体的かつ正確に示すことができる。加えて、身長別に目標記録を達成するために必要な通過時間および区間時間を想定しながら、競技者のトレーニングを進めることが可能になる。

謝辞

本研究データの一部は、一般財団法人上月財団の第6回スポーツ研究助成事業の援助により得られました。また、100m走の撮影に際し、一般社団法人日本実業団陸上競技連合、公益社団法人日本学生陸上競技連合、ならびに関東学生陸上競技連盟には多大なるご協力を賜りました。ここに、深い感謝の意を表します。

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レースパターンの分析—男子を中心に—. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編 世界一流陸上競技者の技術. ベースボール・マガジン社, pp. 14—28.
- ・ 阿江通良(2001)スプリントに関するバイオメカニクスの研究から得られるいくつかの示唆. スプリント研究, 11: 15—26.
- ・ 天野秀哉(2012)100m走の疾走速度変化と局面構造によるレース分析. 宮下 憲編, スプリント&ハードル. 陸上競技社, pp. 41—46.
- ・ 朝原宣治(2009)朝原宣治から「後輩たちへのメッセージ」(下). 月刊陸上競技, 43(1): 77—81.
- ・ 遠藤俊典, 宮下 憲, 尾縣 貢(2008)100m走後半の速度低下に対する下肢関節のキネティクスの要因の影響. 体育学研究, 53: 477—490.
- ・ Graubner, R. and Klockmann, M. (2009) Forschungsgruppe Sprint/Hürden (FGS Halle) am Department Sportwissenschaft der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
http://www.fgs.uni-halle.de/wk2-dat/istaf-dat/ist2000_m100g.pdf, (accessed 2015-08-20)
- ・ Graubner, R. and Nixdorf, E. (2011) Biomechanical analysis of the sprint and hurdles events at the 2009 IAAF world championships in athletics. *New Studies in Athletics*, 26(1/2): 19—53.
- ・ 伊東浩司(2003)私の短距離トレーニング(上). 月刊陸上競技編 疾風(かぜ)になりたい:「9秒台」に触れた男の伝言. 出版芸術社, pp. 239—258.
- ・ Linthorne, N. P. (1994) The effect of wind on 100-m sprint times. *Journal of Applied Biomechanics*, 10: 110—131.
- ・ 松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 杉田正明(2009)2008年男女100m, 110mハードルおよび100mハードルのレース分析. 陸上競技研究紀要, 5: 50—62.
- ・ 松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 杉田正明, 土江寛裕, 阿江通良(2010a)100mのレース分析.

- 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班編, 第 11 回世界陸上競技選手権大阪大会 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班報告書 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. 財団法人日本陸上競技連盟, pp. 5—17.
- ・ 松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 杉田正明(2010b)2009 年シーズンにおける直走路種目のスピードとストライドの分析. 陸上競技研究紀要, 6: 63—71.
 - ・ 松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 小林 海, 松林武生, 貴嶋孝太, 山本真帆, 綿谷貴志, 渡辺圭佑, 杉田正明(2014)2012 年および 2013 年の 100m レースにおけるスピード変化と最高スピード出現区間について. 陸上競技研究紀要, 9: 50—55.
 - ・ 宮川千秋(1992)短距離 最新陸上競技入門シリーズ①. ベースボール・マガジン社, pp. 56—60.
 - ・ 宮代賢治, 山元康平, 内藤 景, 谷川 聡, 西嶋尚彦(2013)男子 100m 走における身長別モデルステップ変数. スプリント研究, 22: 57—76.
 - ・ 永原 隆, 関子浩二(2014)全力疾走の加速局面における疾走能力と身体部分長との間の関係. スプリント研究, 23: 5—15.
 - ・ 野口純正(2008)STATS ON T&F 第 74 回 ボルトの世界新に関するあれこれ. 陸上競技マガジン, 58(13): 110—113.
 - ・ 野口純正, 千田辰己編(2013)全国陸上競技愛好会 創立 50 周年記念 歴代記録集. 全国陸上競技愛好会, pp. 3—6, 180—185.
 - ・ 岡野 進, 渡部 誠, 品田龍吉(1988)競技会における男子 100m レースのタイム・ピッチ・ストライドの関係. 陸上競技紀要 1: 12—18.
 - ・ Olympics at Sports-Reference.com(online)Olympic Athlete Directory.
<http://www.sports-reference.com/olympics/athletes/>, (accessed 2015-08-20).
 - ・ Paruzel-Dyja, M., Walaszczyk, A., and Iskra, J. (2006) Elite male and female sprinters' body build, stride length and stride frequency. *Studies in Physical Culture and Tourism* 13: 33—37.
 - ・ 清水禎宏(2006)短距離(PART1 100m・200m). 全国高等学校体育連盟陸上競技部編 ジュニア陸上競技マニュアル—高校トレーニング方式第 6 版—. 陸上競技社, pp. 46—63.
 - ・ 谷川 聡, 内藤 景(2015)スプリント・ハードルトレーニングのためのバイオメカニクス知見の活かし方. *バイオメカニクス研究*, 18 (3): 157—169.
 - ・ 豊田裕浩(2014)飯塚翔太選手(ミズノ)の世界で活躍できるスプリンターを目指した取り組み—中央大学での 4 年間の取り組みを中心に—. *陸上競技研究*, 98: 44—49.
 - ・ 土江寛裕(2009)ショートスプリントのトレーニング. 日本トレーニング科学会編, *スプリントトレーニング—速く走る・泳ぐ・滑るを科学する—*. 朝倉書店, pp. 96—104.
 - ・ 土江寛裕(2011)陸上競技入門ブック 短距離・リレー. ベースボール・マガジン社, pp. 138—141, 156—157.
 - ・ 関子浩二(2000)トレーニングマネージメント・スキルアップ革命—スポーツトレーニングの計画がわかる—～問題解決型思考によるトレーニング計画の勧め～. *コーチングクリニック*, 14 (1—7) 連載.
 - ・ 関子浩二(2009)スプリントトレーニングのマネジメント. 日本トレーニング科学会編, *スプリントトレーニング—速く走る・泳ぐ・滑るを科学する—*. 朝倉書店, pp. 1—9.