

## 短距離走競技者のステップタイプに応じた 100 m レース中の加速局面の疾走動態

内藤 景<sup>1)</sup> 荻山 靖<sup>2)</sup> 宮代 賢治<sup>1)</sup>  
山元 康平<sup>1)</sup> 尾縣 貢<sup>3)</sup> 谷川 聡<sup>3)</sup>

Hikari Naito<sup>1</sup>, Yasushi Kariyama<sup>2</sup>, Kenji Miyashiro<sup>1</sup>, Kohei Yamamoto<sup>1</sup>, Mitsugi Ogata<sup>3</sup> and Satoru Tanigawa<sup>3</sup>: Type-specific step characteristics of sprinters during the acceleration phase in 100-m sprint. *Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.* 58: 523-538, December, 2013

**Abstract** : The purpose of this study was to clarify the step characteristics during the acceleration phase (0-30 m) of a 100-m sprint with reference to the step-type of sprinters. 59 male collegiate sprinters (season best time: 10.68 ± 0.22 s) were recorded running in 100-m races using 10 high-speed video cameras (300 fps). The step variables, such as step-frequency (SF), step-length (SL), contact time, and flight time of each step in the acceleration phase (0-30 m) and maximum speed phase (30-60 m) were calculated. Cluster analysis was used to classify the subjects according to step-type as indicators for the ratio of SF and SL in the 30-60 m section. In addition, each of the step-type groups was divided into two sub-groups (good and poor sprinters) according to the mean speed in the 30-60 m section. The main results were as follows: (1) Sprinters were classifiable into 3 step-type groups; SL-type (n = 22), SF-type (n = 24), and Mid-type (n = 13). (2) Among these groups, there were no differences in the 100-m race times and mean speeds during the 0-30, 30-60, and 60-100 m sections, although SL-type sprinters were taller and had a higher  $SL_{index}$  than SF-type sprinters. SF-type sprinters took a larger numbers of steps over the 100-m distance and showed a higher  $SF_{index}$  than SL-type and Mid-type sprinters. (3) In the 0-30 m and 30-60 m sections, the contact and flight times of SL-type sprinters were longer than those of SF-type sprinters. (4) In SL-type sprinters, the SF of good sprinters was higher than that of poor sprinters at the 5<sup>th</sup> step, and the SL of good sprinters was longer than that of poor sprinters from the 7<sup>th</sup> to 15<sup>th</sup> steps, and in the 30-60 m section. (5) SF-type sprinters showed no significant differences in the SL, but the SF of good sprinters was higher than that of poor sprinters from the 7<sup>th</sup> to 16<sup>th</sup> steps and in the 30-60 m section. These results indicate that there are differences in step characteristics during the acceleration phase according to step-type, and that the step characteristics during the acceleration phase may affect the acceleration ability needed to develop a maximum sprint speed. These findings could be useful for devising training methods for improvement of 100-m sprint performance according to step-type.

**Key words** : maximum sprint speed, type classification, step-frequency, step-length

キーワード : 最大疾走スピード, タイプ分類, ピッチ, ストライド

- 1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
  - 2) 筑波大学スポーツ Research and Development コア  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
  - 3) 筑波大学体育系  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
- 連絡先 内藤 景

1. Graduate School of Comprehensive Human Sciences,  
University of Tsukuba  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
  2. Sports Research & Development Division Core, Univer-  
sity of Tsukuba  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
  3. Faculty of Health and Sports Sciences, University of  
Tsukuba  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
- Corresponding author hnaito0526@yahoo.co.jp

## I. 緒 言

陸上競技の走種目の1つである100 m 走は、主に加速局面、最大スピード局面、スピード維持局面の3つの局面に分けられ (Delecluse et al., 1995; Mero et al., 1992; Schiffer, 2009), 最大スピード局面における疾走スピードが、100 m 走のパフォーマンスを決定する主要な要因(阿江ほか, 1994; Gajer et al., 1999; Mackala, 2007) であると考えられている。そのため、これまでの短距離走に関する研究では、最大疾走スピード時のピッチ、ストライド、疾走動作に着目した研究が多く行われ (Bezodis et al., 2008; 伊藤ほか, 1998; 宮下ほか, 1986), 100 m 走パフォーマンスが高い競技者の特徴が示されてきた。しかし、最大疾走スピードは加速局面を経て到達することから、最大疾走スピード時の疾走に着目するだけでは、より高い最大疾走スピードに到達するための知見としては不十分であり、100 m 走のパフォーマンス向上に繋がる指導方法への示唆は十分であるとは言えない。より高い最大疾走スピードを獲得するための方法論を明らかにするためには、最大スピードと加速の両局面を対象とし、高い最大疾走スピードを獲得できる競技者の加速局面のパフォーマンスについて検討する必要がある。これまでも短距離走中の加速局面を対象とした研究は行われているものの、疾走中の1サイクルや、特定の距離における1歩を分析対象とした研究 (Hunter et al., 2005; 伊藤ほか, 1997; 村木・宮川, 1973) がほとんどであり、競技会における100 m 走中の加速局面全体の検討、さらに加速局面と最大スピード局面との関係性を考慮して、100 m 走パフォーマンスが高い競技者の特徴を示した研究は極めて少ない (金高ほか, 2005)。

疾走スピードは単位時間内における歩数を表すステップ頻度 (以下: ピッチ) と、歩幅を表すステップ長 (以下: ストライド) の積で決定される。疾走スピードは両者の大小によって決定するため、ピッチとストライドの動態に関する詳細な検討は、より高い疾走スピードを獲得するための知

見を提示できると考えられる。これまでも競技会を分析対象とし、異なるパフォーマンスレベル間の100 m 走中のピッチとストライドを比較した研究 (Gajer et al., 1999; Mackala, 2007; 太田・有川, 1999) が行われているが、これらの研究は100 m 走を10 m 毎に区分し、加速局面においても区間の平均値を検討するに留まっている。しかし100 m 走の加速局面では、疾走スピード、ピッチ、ストライドの変化の割合が大きい。例えば10—20 m 区間は、0—10 m 区間に対し、疾走スピードは約70%、ピッチは約20%、ストライドは約40%増加する (Mackala, 2007)。それ故、加速局面においては、区間毎の平均値の検討では捉えきれない相違点が存在すると考えられ、1歩毎の疾走動態の変化からみた詳細な検討が必要であると考えられる。

ピッチとストライドの間には、ストライドが増加すればピッチが低下し、ピッチが増加すればストライドが低下するという相互依存の関係がある (Hunter et al., 2004)。したがって、ある一定の疾走スピードを獲得するためのピッチとストライドの組み合わせは一律ではなく、最適なピッチとストライドの比は、個人によって異なることが指摘されている (Kunz and Kaufmann, 1981; Schiffer, 2009)。これまでの先行研究から、100 m 走競技者はピッチ型とストライド型に大別でき、各競技者の特性を活かした疾走スタイルを有していること (阿江ほか, 1994; 宮下ほか, 1986) が報告されている。このような短距離走競技者のピッチ、またはストライドに対する優位性は、個人内における複数の100 m レースを検討した研究 (Salo et al., 2011) においても報告されており、その優位性に応じてトレーニングで解決すべき課題が異なる可能性が考えられる (本研究では、このピッチとストライドの優位性をステップタイプと定義する)。しかし、上述の先行研究 (阿江ほか, 1994; 宮下ほか, 1986; Salo et al., 2011) では、ステップタイプの存在を示すのみに留まっており、ステップタイプによる100 m レース中のパフォーマンスの特徴については検討されておらず、加速局面の疾走動態に関する具体

的な相違点については示されていない。また異なるステップタイプの競技者間では、疾走スピードに対するピッチとストライドの比率が異なることが推測され、パフォーマンスの違いに及ぼす要因に関して、ステップタイプによる特異的な特徴が表れる可能性がある。ステップタイプが同じ競技者の中で、パフォーマンスの優れた競技者と劣る競技者を比較することで示される相違点を明らかにできれば、競技者の特性に応じたトレーニング方法を立案する際の有用な知見を提示できると考えられる。

したがって、本研究の目的はピッチとストライドの優位性に着目してステップタイプを分類し、ステップタイプによる100 m レース中の加速局面のピッチ、ストライドの動態の違いを明らかにすること、さらに同じステップタイプのパフォーマンス上位者と下位者の比較から、ステップタイプ毎に、最大疾走スピードが高い競技者の加速局面における疾走動態の特徴を明らかにすることであった。

## Ⅱ. 方 法

### 1. 分析対象者

2011年に開催された公認競技会における男子100 m レースに出場した59名の男性学生競技者を分析対象とした。分析対象者の選定については、複数の対象レースに出場していた競技者は最も記録がよいレースを分析対象とし、また風速が±2.0 m/s 以内のレースを対象とした。分析対象者の100 m レースのシーズンベスト記録は10.68±0.22秒、分析対象競技会における100 m レースの記録は10.83±0.23秒（風速：-0.2±0.9 m/s）、競技達成率は98.6±1.0%であった。なお、競技達成率は、シーズンベスト記録（SB）に対する分析対象競技会の記録（RT）の比率（SB/RT×100）として算出した。

本研究は、筑波大学人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認を得て行われた。なお、本研究の撮影は、分析対象とした公認競技会の大会主催者に対して、研究目的、研究方法、個人情報および

研究データの取り扱いについて、書面にて説明し撮影の許可を得た上で実施した。

### 2. データ収集

本研究では、100 m 走の疾走スピードの変化から疾走局面を区分した研究（羽田ほか，2003；持田ほか，1999；森丘ほか，1997；小木曾ほか，1991）と、コーチング現場での通過タイム計測の利便性に基づき、スタートから30 m を加速局面（以下：0—30 m 区間）、30 m から60 m を最大スピード局面（以下：30—60 m 区間）、60 m から100 m をスピード維持局面（以下：60—100 m 区間）として定義した。30 m 通過の目安となるラインには、女子100 mH の3台目のマークを、60 m 通過の目安となるラインには400 mH の10台目のマークを用いた。いずれのマークも、撮影した映像から目視にて明確に判断することができた。

30 m および60 m 地点の通過タイム、0—30 m 区間の1歩毎のピッチとストライドを算出するために、ホームストレート側方の観客用スタンド中段にハイスピードカメラ（CASIO 社製、EX-F1、撮影スピード：毎秒300コマ、露出時間：1/1000—1/2000秒）を合計10台設置した。カメラには競技者のトルソーおよび足部が画角に映るよう撮影した。7台のカメラは、通過タイムおよびストライドを算出するため三脚に固定し、3台のカメラはピッチを算出するため、30 m、60 m、90 m 地点にてスタートからゴールまでパンニング撮影を行った。なお、スタートピストルの閃光は、ピッチ算出用に用いた60 m 地点のカメラにて撮影した。

競技会における100 m レースの1歩毎のストライドの連続変化を分析した金高ほか（2005）の研究では、レーザー速度計測器を用いて1歩毎のストライドを算出している。しかし、この方法は疾走中の体幹変位を利用して、ストライドを算出しているため、実測によるストライドと同値として捉えることはできないことが指摘されている（金高ほか，2004）。したがって、本研究の主目的である加速局面の疾走動態を検討するために

は、体幹部の前傾姿勢の変化が、直接的に1歩のストライドの値に影響を与えない方法を用いて、100 m レース中の1歩毎のストライド（片側の脚のつま先から、反対側の脚のつま先までの水平距離）を計測する必要があると考えた。そこで本研究では、水平跳躍種目の助走分析で用いられている、ビデオ画像から1歩毎のストライドを分析する方法（伊藤ほか、1994）を手がかりに、加速局面の1歩毎のストライドの動態を計測した。

0—30 m 区間における1歩毎のストライドを算出するため、三脚に固定されたハイスピードカメラ6台（CASIO社製、EX-F1、撮影スピード：毎秒300コマ、露出時間：1/1000—1/2000秒）を用いてレースを撮影した。走路上にDLT（Direct Linear Transformatin）法による2次元座標系を構築するため、競技会開始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、ホームストレート100 m スタートラインの後方2 m からゴール方向に向かって30 m 地点まで、較正マークを2 m 間隔で配置し、スタンドに設置されたカメラにて撮影した。ストライド算出に用いられたカメラの画角は6 m に設定した。

### 3. 測定項目およびデータ処理

撮影された映像から、区間毎のデータとして、0—30 m, 30—60 m, 60—100 m 区間のタイム、歩数、平均ピッチ、平均ストライド、平均疾走スピードを算出した。スタートピストルの閃光を撮影した60 m 地点のパンニングカメラと、30 m および60 m 地点に設置された通過タイム算出用カメラは、競技者の足部の任意の接地を基準としてコマ数を同期した。歩数については、スタートの号砲後、地面に最初についた足の接地を1歩目とし、各区間における足の接地回数を数えた。なお、2区間をまたがった場合は、各地点を通過する直前の接地からトルソーが通過するまでの時間を算出し、その時間を1歩に要した時間（片側の足の接地から、反対側の足の接地まで）で除すことによって比率を算出した後、各地点を通過する直前までの歩数に、その比率を加えた。30 m および60 m 地点の通過タイムは、各地点に設置

された固定カメラの映像から、競技者のトルソーがハードルを設置するマーク上を通過したコマ数を読み取ることで算出した。また30—60 m と60—100 m 区間のタイムは、60 m 通過タイムから30 m 通過タイムを、100 m ゴールタイムから60 m 通過タイムを減じることで算出した。区間の平均ピッチは、各区間に要した歩数を各区間タイムで除すことで求め、区間平均ストライドは、各区間の距離を区間に要した歩数で除すことで求めた。以上のように算出した区間平均ピッチと平均ストライドの積を区間平均疾走スピードとした。また、30—60 m 区間の平均ピッチとストライドをもとに、ストライド指数とピッチ指数を以下の式によって算出した（Alexander, 1977；伊藤ほか、1998）。なお、ここでgは重力加速度を示す。

$$\begin{aligned} \text{ストライド指数} &= \text{平均ストライド} \cdot \text{身長}^{-1} \\ \text{ピッチ指数} &= \text{平均ピッチ} \cdot (\text{身長} \cdot g^{-1})^{1/2} \end{aligned}$$

加速局面における1歩毎のピッチの動態は、スタート直後の接地したステップから、30 m 地点通過直前の全歩数を対象に、疾走中の1歩毎の接地および離地時のコマ数をカウントすることで、1歩毎の接地時間および滞空時間を算出し、両者の和の逆数から算出した。

加速局面における1歩毎のストライドの動態は、ビデオ動作解析システム（DKH社製、FrameDIAS II Ver. 3 for Windows）を用い、競技開始前に撮影した較正マークの座標値（4点）と、疾走中の各ステップのつま先を含む合計5点を読み取り実長に換算し、接地した足のつま先と、次のステップのつま先の水平座標値の差を求めることで算出した。なお、ストライドの分析は、スタート直後の最初のステップから、30 m を通過する直前のステップまで行った。以上のように算出したピッチとストライドの積から、1歩毎の疾走スピードを求めた。

1歩毎に算出された疾走スピード、ピッチ、ストライド、接地時間、滞空時間の時系列データは、測定誤差や左右差を除去し、加速局面におけるそれらの変数の動態を検討するため、以下の式に基づき3点加重移動平均を1回行い平滑化し

た (大道・宮下, 1982).

$$y_k = (x_{k-1} + 2 \cdot x_k + x_{k+1}) \cdot 4^{-1}$$

この時,  $x_k$  は平滑化処理前の  $k$  番目のデータ,  $y_k$  は平滑化処理後の  $k$  番目のデータを示している. 平滑化処理の方法として3点加重移動平均を用いた理由は,  $x_k$  が平滑化後の平均値に対して, 2分の1で貢献するよう重み付けをすることで元の現象を大きく歪めることが少ない (大道・宮下, 1982) ためである. なお, 加速局面の両端のデータ (1歩目と30 m を通過する直前の歩数) は, 3点加重移動平均による平滑化処理を行えないことから, 実測値をそのまま用いた.

本研究では, ピッチ・ストライド比 (伊藤ほか, 2001; 杉林ほか, 2003) を以下の式より算出し, ピッチまたはストライドへの優位性から分析対象者のステップタイプを判定する指標とした.

$$\text{ピッチ・ストライド比} = \frac{\text{平均ピッチ}}{\text{平均ストライド}}^{-1}$$

この時の平均ピッチおよび平均ストライドは, 最大スピード局面として定義した30—60 m 区間の値を用いた. 30—60 m 区間のピッチ・ストライド比を類型化の基準とした理由は, 100 m レース中の最大疾走スピードは, 40 m から60 m の間で出現する競技者が多いことから (阿江ほか, 1994), 競技者の最大疾走スピード時のピッチとストライドの組み合わせを評価できると考えたからである. このピッチ・ストライド比の値が高い場合は, 疾走スピードに対してピッチへの優位性が高い疾走を, 低い場合は, ストライドへの優位性が高い疾走であったことを示している.

#### 4. 統計処理

分析対象となった競技者のステップタイプを類型化するために, 30—60 m 区間のピッチ・ストライド比に対して, 変量を標準化した平方ユークリッド距離を求め, これを手がかりとして Ward 法によるクラスター分析をケース (個体) に対して行った (松田ほか, 2010).

また, 同じステップタイプ内における最大疾走

スピードの異なる競技者の加速局面の疾走動態を比較するため, ステップタイプ毎の最大スピード局面 (30—60 m 区間) における区間平均疾走スピードの平均値を基準として, 競技者を上位群 (Good) と, 下位群 (Poor) に群分けした.

区間毎, 1歩毎の値はすべて平均値および標準偏差で示した. 測定項目間の関係性を検討するために, Pearson の積率相関係数を算出した. また, ステップタイプ間の各測定項目の相違を検討するために, 3群以上の比較には対応のない一元配置分散分析を行い, 有意水準に達したものについては多重比較 (Tukey-Kramer 法) を行った. ステップタイプ毎の上位群と下位群の比較には, 対応のない  $t$  検定を行った. なお, いずれの統計処理においても, 有意性は危険率 5% 未満で判定し, 10% 未満は有意傾向として扱った.

### III. 結 果

#### 1. ステップタイプの分類と加速局面の疾走動態

Fig. 1 に, 100 m レース中の30—60 m 区間の平均疾走スピードと, 30—60 m 区間の平均ピッチ, 平均ストライド, そしてピッチ・ストライド比との関係性を示した. 図中には示していないが, 100 m レースタイムと30—60 m 区間の平均疾走スピードの相関係数は, 他の区間より高い値であった (30—60 m:  $r = -0.974$ ,  $p < 0.01$ ; 0—30 m:  $r = -0.911$ ,  $p < 0.01$ ; 60—100 m:  $r = -0.957$ ,  $p < 0.01$ ). 平均疾走スピードと平均ストライド ( $r = 0.249$ ,  $p < 0.1$ ), 平均ピッチ ( $r = 0.289$ ,  $p < 0.05$ ) の間には相関関係が認められたが (Fig. 1-a, -b), その決定係数は, 0.062と0.083で極めて低かった. また平均疾走スピードとピッチ・ストライド比の間には, 相関関係は認められなかった ( $r = -0.024$ , Fig. 1-c).

Fig. 2 に, クラスター分析による類型化の結果を示した. 100 m レースタイムと平均疾走スピードの相関係数が, 最も高い30—60 m 区間のピッチ・ストライド比を指標として, Ward 法によるクラスター分析を行った結果, クラスターが大きい

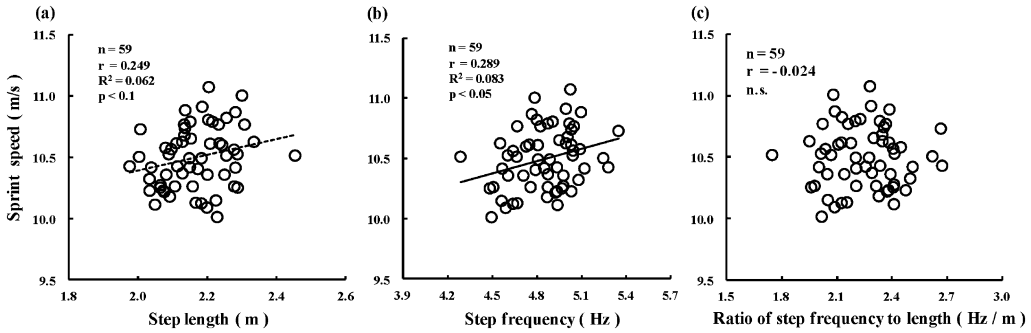


Fig. 1 Relationships between average sprint speed and step length (a), step frequency (b), ratio of step frequency to length (c) during 30–60 m section. [n.s.: not significant]

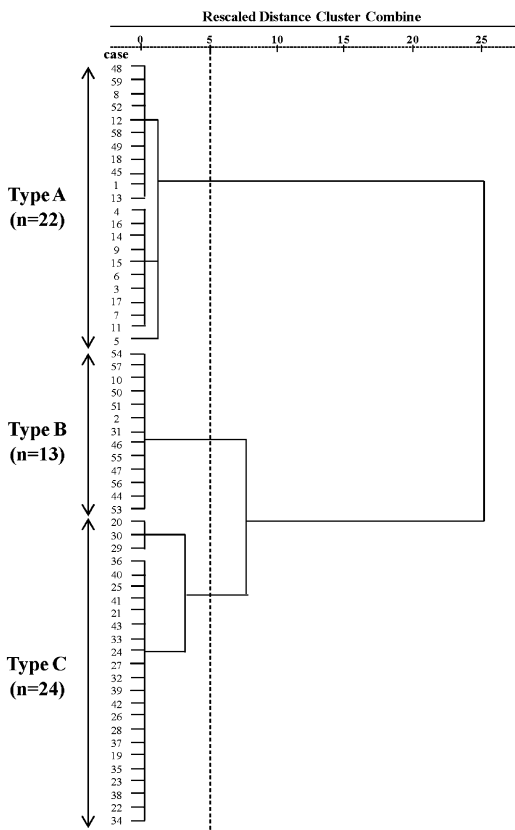


Fig. 2 Step-types classification according to cluster analysis.

く分かれる点（距離5.0）で3つのグループ（Type A, B, C）に分類された。そこで、各グループの30–60 m区間のピッチ・ストライド比を比較した結果、Type C, B, Aの順で有意に大

きかった（Table 1）。したがって、Type Cはピッチの優位性が高いピッチ型の競技者群（SF-type）、Type Aはストライドの優位性が高いストライド型の競技者群（SL-type）、Type Bはどちらにも優位性を示さない中間型の競技者群（Mid-type）であると判断した。

Table 1に、対象者全体およびステップタイプ毎の30–60 m区間のピッチ・ストライド比、平均ピッチ、平均ストライド、身長、100 mレースタイム、総歩数、ストライド指数、ピッチ指数、そして区間毎の平均疾走スピードの平均値と標準偏差を示した。身長は、SL-type, SF-typeの間に有意差が認められ、SF-typeとMid-typeの間には認められなかった。ストライド指数はSL-typeがSF-typeより有意に高い値を示し、ピッチ指数はSF-type, Mid-type, SL-typeの順で有意に高い値を示した。100 mレースタイムは、ステップタイプによる差は認められず、区間毎の平均疾走スピードもタイプ間に差は認められなかった。100 m全体の歩数は、SL-typeが $47.70 \pm 1.33$ 歩、Mid-typeが $49.76 \pm 1.06$ 歩、SF-typeが $51.69 \pm 1.15$ 歩で全てのタイプ間に有意差が認められた。30–60 m区間の平均ストライドは、対象者全体が $2.17 \pm 0.10$  m、SL-typeが $2.26 \pm 0.06$  m、SF-typeが $2.08 \pm 0.05$  m、Mid-typeが $2.17 \pm 0.03$  mで、タイプ間に有意差が認められた。同区間の平均ピッチは全体が $4.85 \pm 0.21$  Hz、SL-typeが $4.63 \pm 0.13$  Hz、SF-typeが $5.04 \pm 0.11$  Hz、Mid-typeが $4.88 \pm 0.08$  Hzで、タイプ間に有意差が認

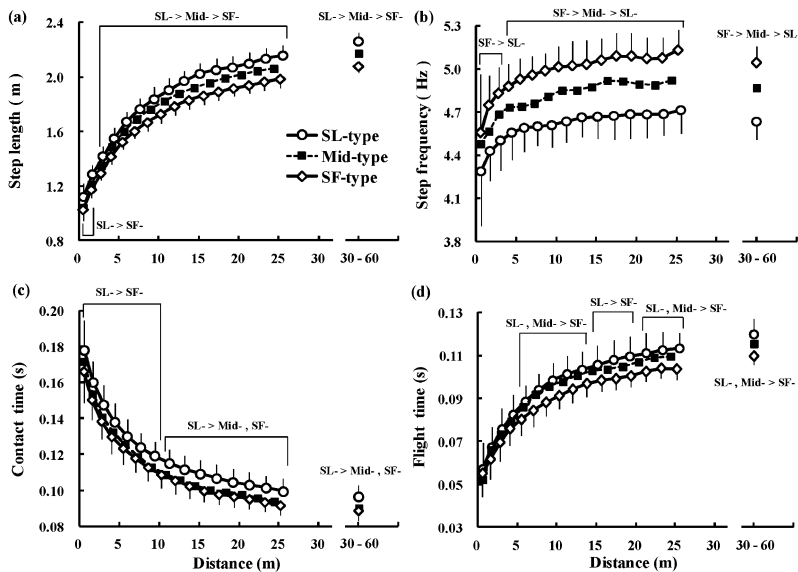
**Table 1** Comparison of selected parameters in 100-m race and mean of sprint speed in each phase among the step-types.

	All (n=59)	A: SL-type (n=22)	C: SF-type (n=24)	B: Mid-type (n=13)	Variance analysis	Multiple comparison
Ratio of SF/SL	2.25 ± 0.19	2.05 ± 0.09	2.43 ± 0.10	2.25 ± 0.05	*	SF-> Mid-> SL-type
30—60 m SL (m)	2.17 ± 0.10	2.26 ± 0.06	2.08 ± 0.05	2.17 ± 0.03	*	SL-> Mid-> SF-type
30—60 m SF (Hz)	4.85 ± 0.21	4.63 ± 0.13	5.04 ± 0.11	4.88 ± 0.08	*	SF-> Mid-> SL-type
Body height (m)	1.74 ± 0.05	1.78 ± 0.04	1.71 ± 0.03	1.73 ± 0.02	*	SL-> SF-, Mid-type
100 m time (s)	10.83 ± 0.23	10.85 ± 0.28	10.84 ± 0.20	10.77 ± 0.23	n.s.	
All steps (step)	49.78 ± 2.13	47.70 ± 1.33	51.69 ± 1.15	49.76 ± 1.06	*	SL-> Mid-> SF-type
SL index <sup>†</sup>	1.24 ± 0.04	1.27 ± 0.04	1.21 ± 0.03	1.25 ± 0.02	*	SL-, Mid-> SF-type
SF index <sup>††</sup>	2.04 ± 0.08	1.97 ± 0.05	2.11 ± 0.04	2.05 ± 0.04	*	SF-> Mid-> SL-type
Sprint speed (m/s)						
0—30 m	7.39 ± 0.13	7.37 ± 0.16	7.39 ± 0.11	7.42 ± 0.13	n.s.	
30—60 m	10.50 ± 0.25	10.47 ± 0.28	10.48 ± 0.22	10.58 ± 0.25	n.s.	
60—100 m	10.25 ± 0.28	10.25 ± 0.32	10.22 ± 0.25	10.30 ± 0.28	n.s.	

<sup>†</sup> Mean of step length in 30—60 m · body height<sup>-1</sup>

<sup>††</sup> Mean of step frequency in 30—60 m · (body height · g<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup>

SL: step length, SF: step frequency [\* , > : p < 0.05, n.s.: not significant]



**Fig. 3** Comparison of changes of step length (a), step frequency (b), contact time (c) and flight time (d) of each step during acceleration phase among the step-types. [> : p < 0.05]

められた。なお Mid-type の各変数の平均値は、対象者全体の平均値とほぼ一致していた。

Fig. 3 に、100 m レース中の加速局面の 1 歩毎のストライド (Fig. 3-a)、ピッチ (Fig. 3-b)、接地時間 (Fig. 3-c)、滞空時間 (Fig. 3-d) の動

態と、最大スピード局面の同変数の平均値をステップタイプ毎に示した。加速局面におけるストライドの動態は、いずれのステップタイプにおいても 1 歩毎に漸増し、最大スピード局面にむけて増加し続けた。一方、加速局面におけるピッチの

動態は、いずれの疾走タイプにおいても3—4歩目にかけて急激に増加し、その後の歩数では微増しながら、最大スピード局面に向けてほぼ同じ値を維持した。ストライドとピッチの動態をステップタイプ間で比較した結果、30—60 m 区間、そして加速局面の全歩数においてストライドはSL-type が、ピッチはSF-type が有意に高い値を示した。加速局面における1歩毎の接地時間と滞空時間の動態を、ステップタイプ間で比較した結果、接地時間は1—7歩目で、SL-type がSF-type より有意に長く、8歩目以降はSL-type とMid-, SF-type の間に有意差が認められた。一方、滞空時間は5歩目以降と30—60 m 区間で、SL-, Mid-type はSF-type より有意に長かった。

## 2. 同じステップタイプ内における最大疾走スピードの異なる競技者の疾走動態

各ステップタイプの30—60 m 区間の平均疾走スピードの平均値を基準として、タイプ毎にパフォーマンス上位群 (Good) と下位群 (Poor) の

2群に分けた。Table 2には、SL-type とSF-type のGood群とPoor群のピッチ・ストライド比、身長、100 m レースタイム、総歩数、および、30—60 m と0—30 m 区間のタイム、平均疾走スピード、ストライド、ピッチの平均値と標準偏差を示した。各ステップタイプのGood群とPoor群のt検定の結果、どちらのステップタイプにおいても、ピッチ・ストライド比、身長に有意差は認められなかった。100 m レースタイムは、SL-type-Good群が10.67 ± 0.16秒、SL-type-Poor群が11.16 ± 0.12秒、SF-type-Good群が10.69 ± 0.10秒、SF-type-Poor群が11.02 ± 0.10秒であった。総歩数はSL-type ではGood群が有意に少なかったが、SF-type では有意差は認められなかった。30—60 m と0—30 m 区間のタイム、平均疾走スピードは、両タイプともに有意差が認められたが、SL-type-Good群は30—60 m 区間の平均ストライドが有意に大きかった。SF-type-Good群は30—60 m 区間の平均ピッチが有意に高かった。0—30 m 区間の平均ストライド、平均ピッチに有

**Table 2** Comparison of selected parameters in the 100-m race and each phase (maximum speed and acceleration) between faster sprinters (Good) and slower sprinters (Poor) in each step-type.

	SL-type		SF-type	
	Good (n=14)	Poor (n=8)	Good (n=13)	Poor (n=11)
Ratio of SF/SL	2.04 ± 0.10	2.06 ± 0.07	2.44 ± 0.12	2.41 ± 0.06
Body height (m)	1.78 ± 0.05	1.77 ± 0.04	1.70 ± 0.03	1.72 ± 0.03
100 m time (s)	10.67 ± 0.16	11.16 ± 0.12*	10.69 ± 0.10	11.02 ± 0.10*
All steps (step)	47.14 ± 1.16	48.69 ± 1.02*	51.49 ± 1.45	51.93 ± 0.62
30—60 m (Maximum speed phase)				
Time (s)	2.82 ± 0.05	2.95 ± 0.03*	2.82 ± 0.03	2.92 ± 0.03*
Step number (step)	13.13 ± 0.31	13.51 ± 0.26*	14.36 ± 0.41	14.53 ± 0.18
Sprint speed (m/s)	10.64 ± 0.18	10.17 ± 0.11*	10.65 ± 0.13	10.27 ± 0.10*
Step length (m)	2.29 ± 0.06	2.22 ± 0.04*	2.09 ± 0.06	2.06 ± 0.03
Step frequency (Hz)	4.66 ± 0.14	4.58 ± 0.08	5.10 ± 0.12	4.98 ± 0.07*
0—30 m (Acceleration phase)				
Time (s)	4.02 ± 0.05	4.17 ± 0.05*	4.03 ± 0.05	4.10 ± 0.04*
Step number (step)	17.05 ± 0.55	17.38 ± 0.38	18.48 ± 0.63	18.54 ± 0.29
Sprint speed (m/s)	7.47 ± 0.10	7.20 ± 0.08*	7.45 ± 0.09	7.31 ± 0.08*
Step length (m)	1.76 ± 0.06	1.73 ± 0.04	1.63 ± 0.05	1.62 ± 0.03
Step frequency (Hz)	4.25 ± 0.16	4.17 ± 0.09	4.59 ± 0.14	4.52 ± 0.07

[Good vs Poor in each step-type \*: p < 0.05]



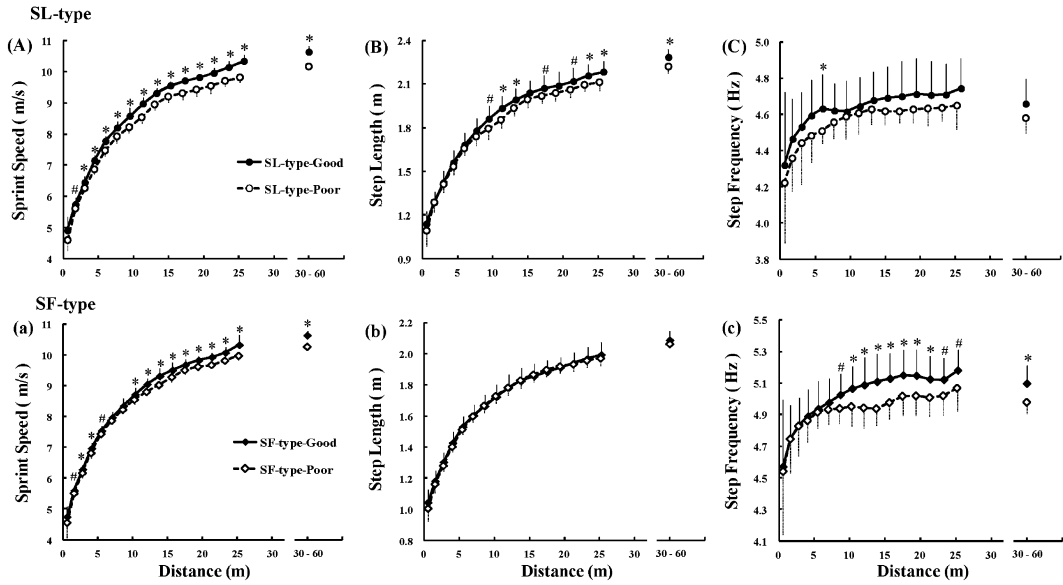


Fig. 4 Comparison of changes of sprint speed (A, a), step length (B, b), step frequency (C, c) of each step during acceleration phase between Good and Poor sub-groups in SL- (above) and SF-type (below). [Good vs Poor in each step-type \*:  $p < 0.05$ , #:  $p < 0.1$ ]

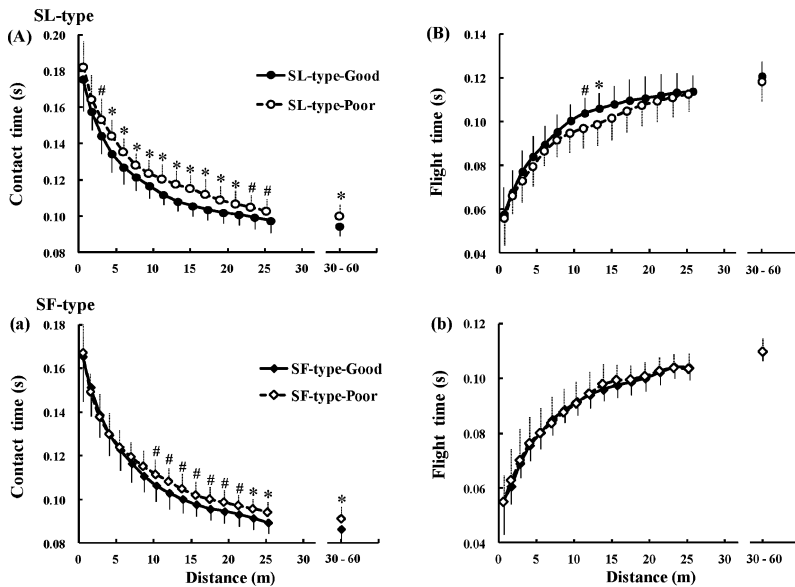


Fig. 5 Comparison of changes of contact time (A, a) and flight time (B, b) of each step during acceleration phase between Good and Poor sub-groups in SL- (above) and SF-type (below). [Good vs Poor in each step-type \*:  $p < 0.05$ , #:  $p < 0.1$ ]

意差は認められなかった。

Fig. 4に、SL-typeとSF-typeのGood群とPoor群の加速局面における、1歩毎の疾走ス

ピード、ストライド、ピッチの動態と、各変数の30—60 m区間の平均値と標準偏差を示した。なお、1歩毎の比較は、各ステップタイプの最小歩

数に統一した(SL-type : 15歩, SF-type : 16歩). SL-type では Good 群の疾走スピードが, 2—15歩目の歩数において有意に高かった (Fig. 4-A). 疾走スピードを構成するストライドとピッチを比較すると, SL-type-Good 群のストライドが, 7—15歩目にかけて高い値を示す傾向にあり (Fig. 4-B), SL-type-Good 群のピッチは5歩目以外に有意差は認められなかった (Fig. 4-C). SF-type では Good 群の疾走スピードが, 2—16歩目において有意に高い値を示した (Fig. 4-a). ストライドは加速局面の全歩数にわたって, 両群に有意差は認められなかった (Fig. 4-b). 一方, ピッチは SF-type-Good 群の7—16歩目にかけて高い値を示した (Fig. 4-c).

Fig. 5に, SL-type と SF-type における Good 群と Poor 群の1歩毎の接地時間と滞空時間の動態を示した. SL-type では, Good 群の接地時間が3—15歩目と30—60 m 区間において有意に短かった (Fig. 5-A). SL-type-Good 群の滞空時間は, 8歩と9歩目において有意に長い傾向を示した (Fig. 5-B). SF-type では, Good 群の接地時間が8—16歩目にかけて短い値で推移する傾向にあったが (Fig. 5-a), 滞空時間に有意差は認められなかった (Fig. 5-b).

#### Ⅳ. 考 察

本研究の分析対象者である男性学生競技者59名の分析対象レースの100 m レースタイムは,  $10.83 \pm 0.23$ 秒で, その範囲は10.37—11.28秒であった. 日本学生陸上競技対校選手権大会の100 m 走出場標準記録が10.50秒 (A 標準) と, 10.60秒 (B 標準) であることを考慮すると, 本研究のデータは, 日本の学生競技者として比較的競技水準の高い競技者を含む広範囲な競技水準の100 m レースのパフォーマンスを対象としたものである. また各競技者の分析対象レースの競技達成率は $98.6 \pm 1.0\%$ であり, 個人内においても高いパフォーマンスを発揮したレースのデータであると考えられる.

#### 1. 100 m レースにおけるステップタイプと加速局面の疾走動態

最大スピード局面として定義した30—60 m 区間の疾走スピード, ストライドとピッチの関係性は極めて低く (Fig. 1), ストライドとピッチともに大きく分散していた. さらに, ピッチ・ストライド比と疾走スピードの間に, 相関関係は認められなかったことから, 疾走スピードに対するピッチまたはストライドの優位性は, 競技者によって大きく異なると考えられた. そこで30—60 m 区間のピッチ・ストライド比を変数とし, その変数が近い個体を統計的に類型化するクラスター分析によって, ステップタイプの分類を行った. その結果, 分析対象者は大きく3つのタイプに分類され (Fig. 2), タイプ間の30—60 m 区間のピッチ・ストライド比の比較から, ピッチ型 (SF-type), 中間型 (Mid-type), ストライド型 (SL-type) に分類された. そしてタイプ間の区間平均疾走スピードに有意差が認められなかったことから, 同程度の疾走スピードに対するピッチとストライドの貢献は, ピッチの優位性が高い競技者と, ストライドの優位性が高い競技者に分けられることが示された (Table 1). この結果は, 100 m 走競技者におけるピッチとストライドからみた短距離走競技者のタイプの検討を行った先行研究 (阿江ほか, 1994; 宮下ほか, 1986; Salo et al., 2011) の結果を支持するものであり, 先行研究の報告と同様に, 100 m 走競技者はストライド型とピッチ型に大別されることが確認された. しかし, これまでのピッチとストライドからみた疾走のタイプの検討を行った研究 (阿江ほか, 1994; 宮下ほか, 1986; Salo et al., 2011) は, 世界一流競技者が主な分析対象者であり, 日本人競技者は含まれていても3名程度 (阿江ほか, 1994) である. またステップタイプ毎の100 m に要する総歩数, ピッチ, ストライドといった変数の平均値は示されていないことから, 本研究で示された各変数の値 (Table 1) は, 日本人短距離走競技者のステップタイプを判断する際の参考値の1つになるものと考えられる.

本研究の結果から, 30—60 m 区間のピッチ・

ストライド比の95%信頼区間を算出すると、SL-type は2.01—2.09, SF-type は2.39—2.47の範囲であった。宮下ほか(1986)が報告しているデータをもとに、男性5名の世界トップスプリンターの最大疾走スピード時のピッチ・ストライド比を算出すると、SL-type に分類されている3名の競技者は1.76, 2.04, 1.99, SF-type に分類されている2名の競技者は2.31, 2.30で、本研究より低い値であった。宮下ほか(1986)の分析対象者の競技水準が9秒9台から10秒2台であることや、ピッチとストライドの分析が58 m 付近の2歩であったことが、本研究とは異なるピッチ・ストライド比の値を示した理由として推察される。したがって本研究のステップタイプの各値は、本研究の対象者と同等の競技水準の競技者に適用されるものと考えられる。

最大スピード局面のピッチ、ストライドの組み合わせから分類された、ステップタイプ毎の加速局面における1歩毎のピッチとストライドの動態を検討した結果、スタート時から全ての歩数において、SL-type のストライドが大きく、SF-type のピッチが高かった (Fig. 3-a, -b)。また接地時間と滞空時間に関しては、どちらの変数とも SL-type が有意に長い値を示した (Fig. 3-c, -d)。ピッチは滞空時間と接地時間によって決められ、滞空時間が増加するとストライドを増大させるが、逆にピッチを低下させる (Hunter et al., 2004)。したがって、SL-type は加速局面の初期段階から、長い滞空時間で疾走することで大きなストライドを獲得し、疾走スピードを増大させていたと考えられる。このようなステップタイプによる滞空時間と、接地時間の違いを生じさせる要因の1つとして脚長が挙げられる。Hunter et al. (2004)は、脚が長い競技者は、支持距離(接地中に身体重心が移動する距離)と接地時間が長い傾向にあるため、地面に対して力を作用させる時間が長いことを指摘している。本研究のSL-type とSF-type の身長には有意差が認められており、脚長に関しても、SL-type の方が長いことが推測される。このことからSL-type はSF-type と比較して、地面に力を作用させる時間が

長い結果、滞空時間も長い値を示したと考えられる。しかし、身長の影響を取り除いたストライド指数はSL-type が、ピッチ指数はSF-type が最も高い値を示した (Table 1)。したがって、形態的な相違がステップタイプの違いに影響している要因の1つとして考えられるものの、SL-type はストライドが、SF-type はピッチが高まる走技術といった機能的な要因も影響していることが考えられ、今後はキネマティクスの観点からも詳細な検討が必要である。

以上の結果から、最大スピード局面のピッチとストライドの組み合わせからステップタイプを分類した場合、スタート直後からステップタイプによる特異的な特徴 (SL-type はストライドが大きく、SF-type はピッチが高い) が現れていることが示された。この結果は、短距離走を専門とする競技者では、最大スピード局面のステップタイプに応じた加速局面のピッチとストライドの動態が形成されていることを示唆している。

## 2. ステップタイプに応じたより高い最大疾走スピードに到達するための加速の仕方

ステップタイプを考慮して、より高い最大疾走スピードに到達するための加速局面の疾走動態を検討するために、同じステップタイプ内でパフォーマンス間の比較を行った。ステップタイプ毎の30—60 m 区間の平均疾走スピードの平均値を基準として、上位群 (Good) と下位群 (Poor) に群分けし、ステップに関する変数 (ピッチ、ストライド、接地時間、滞空時間) について、30—60 m 区間では平均値を、0—30 m 区間では1歩毎の動態を比較した。なお考察は、全体の平均値と大きく異なる特徴を示した、SL-type とSF-type の Good 群と Poor 群の比較に焦点を絞って進めていくこととする。

1歩毎の疾走スピードに関しては、SL-type とSF-type とともに2歩目から、Good 群とPoor 群の間に差が認められた (Fig. 4)。そして、加速局面におけるピッチとストライドの動態を検討したところ、区間の平均値の比較 (Table 2) では捉えきれないパフォーマンス間の相違点が、SL-

type と SF-type それぞれで示された。

SL-type の 1 歩毎のピッチは、SL-type-Good 群がスタート後の 5 歩目で高い値を示したものの、標準偏差が大きく、5 歩目以外に有意差は認められなかった (Fig. 4-C)。しかし、1 歩毎のストライドは、SL-type-Good 群が 7 歩目以降で大きな値を示し、30—60 m 区間の平均ストライドも大きかった (Fig. 4-B)。この結果について、100 m レースタイムの主要な決定要因である最大スピード局面と加速局面のパフォーマンスの関係性を考慮すると、SL-type-Good 群の最大スピード局面の大きなストライドは (SL-type-Good 群の 30—60 m 区間の平均ストライド:  $2.29 \pm 0.06$  m)、加速局面の 7 歩目以降 (約 9 m 付近) の疾走において、ストライドがより増大していくことが影響すると考えられる。さらに、ピッチの結果も考慮すると、スタートから 5 歩目あたりまでにピッチを高め、それ以降の歩数において、5 歩目までに高められたピッチを維持しながら、ストライドが大きくなるのが、加速局面で獲得される疾走スピードを高め、そしてより高い最大スピードを獲得することに影響すると考えられる。ストライドと身長の間には正の相関関係があるとされているが (Hay, 1993)、SL-type の Good と Poor 群の間の身長に差が認められなかったことから、両群のストライドの差は形態的な要因によるものではなく、走技術などの機能的要因が影響していると考えられる。さらに接地時間と滞空時間については、SL-type-Good 群の接地時間が、3 歩目以降から 30—60 m 区間に到るまで短い値を示し、1 歩毎のストライドに差が生じ始めた歩数付近の滞空時間が長い傾向を示した (Fig. 5-A, B)。これらの結果と、ストライド、ピッチの結果を合わせて考えると、SL-type-Good 群はストライドに差が生じ始める歩数で滞空時間が延長することで、ストライドが大きくなるが、接地時間が短いことにより、ピッチが極端に低下することなく加速局面を疾走していたと考えられる。

一方、SF-type の 1 歩毎のストライドは、全ての歩数でパフォーマンス間に差は認められず、30—60 m 区間の平均値にも差は認められなかつ

た (Fig. 4-b)。しかし 1 歩毎のピッチは、SF-type-Good 群が 7 歩目以降で高い値を示し、30—60 m 区間の平均ピッチも高かった (Fig. 4-c)。この結果について、最大スピード局面と加速局面のパフォーマンスの関係性を考慮すると、SF-type-Good 群の最大スピード局面での 5.0 Hz 以上の高いピッチには (SF-type-Good 群の 30—60 m 区間の平均ピッチ:  $5.10 \pm 0.12$  Hz)、加速局面の 7 歩目以降 (約 9 m 付近) で、ピッチがより高まるのが影響すると考えられる。ピッチの動態に、ストライドの結果も考慮すると、SF-type はストライドを減少させることなく、7 歩目以降のピッチが高まるのが、加速局面で獲得される疾走スピードを高め、そしてより高い最大スピードを獲得することに影響すると考えられる。ピッチと身長の間には負の関係性があると指摘されているが (Hay, 1993)、SF-type の Good と Poor 群の間に身長差は認められなかったことから、両群のピッチの差は形態的な要因によるものではなく、走技術といった機能的要因が影響していると考えられる。接地時間と滞空時間の比較では、滞空時間に差は認められなかったが、SF-type-Good 群の接地時間は、ピッチに差が生じ始めた 8 歩目から短い値で推移しており (Fig. 5-c, d)、SF-type のパフォーマンス間で認められたピッチの差は、接地時間の違いによるものであると考えられる。

ここまでステップタイプ毎に、最大疾走スピードが高い競技者における加速局面の疾走動態の特徴を検討したが、ステップタイプの異なる SF-type と SL-type であっても、上位群と下位群の間には、7 歩目以降にピッチまたはストライドに差が生じることが、パフォーマンス間の相違点として共通していた。この 7 歩目は、距離にして約 9 m 付近 (SL-type:  $9.45 \pm 0.45$  m, SF-type:  $8.62 \pm 0.40$  m)、走スピードにして約 8 m/s 付近 (SL-type:  $8.45 \pm 0.30$  m/s, SF-type:  $8.30 \pm 0.20$  m/s) であった (この時の走スピードを 30—60 m 区間の走スピードに対する比率で示すと、SL-type は  $80.71 \pm 2.26$  %, SF-type は  $79.22 \pm 1.83$  %)。100 m 走における加速局面は、スタートか

ら8歩目前後(約11 m), 8歩目前後から15歩目前後(約11—25 m), 15歩目前後から最大疾走スピードに到達するまで(約25—50 m)の3つの局面に区分されることが報告されている(金高ほか, 2005). さらに Delecluse et al. (1995) は, 100 m 走中の2 m 毎の疾走スピードを検証し, スタートから10 m では高い初期加速を達成する能力, 12 m から34 m では初期加速に続いて最大スピードへ疾走スピードを増大させる能力, 36 m 以降では高い疾走スピードを維持する能力の3つの要素が存在することを示している. また Fukunaga and Matsuo (1981) は, クラウチングスタート姿勢からのスプリント走において, 5—6 m/s 以上の走スピードでは, 力学的パワーが急激に増加すること, そしてスタート時の接地期では, 主に伸展動作のみを示していた膝関節において接地期前半で屈曲動作が認められるようになることを報告している. 以上のような先行研究(Delecluse et al., 1995; Fukunaga and Matsuo, 1981; 金高ほか, 2005)の結果を考慮すると, ピッチとストライドの動態に顕著な違いが認められた7歩目以降は, 加速の局面が移行する点, つまり初期加速から最大疾走スピードへと疾走スピードが増大していく局面に相当し, 力学的パワーや走動作に顕著な変化が生じる歩数であると考えられ, この局面のスプリント走パフォーマンスが, 最大疾走スピードに影響を与えるものと推察される.

したがって本研究の結果は, より高い最大疾走スピードを獲得することに対する制限要因が, ステップタイプに共通して, 初期加速後から最大スピードに向けて走スピードが増大していく局面に存在している可能性を示している. この結果は, 最大スピード局面のストライド, またはピッチを増大させ, 最大疾走スピードを増加させる場合, 加速局面の7歩目(約9 m 付近)以降でそれらの変数が高まる必要があることを示唆しており, 加速局面と最大スピード局面の関係性を考慮した, 100 m レース中の最大疾走スピードを高めるためのトレーニングの観点を提示していると考えられる. 短距離走競技者のピッチとストライドは, 両

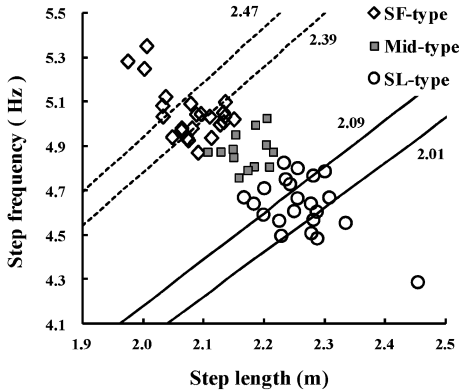
変数が相互に依存した関係にあるため(Hay, 1993; Hunter et al., 2004; Kunz and Kaufmann, 1981), どちらかの変数の減少をできる限り抑え, もう1つの変数を増加させることで, 疾走スピードが高まると指摘されている(Dorn et al., 2012; Hay, 1993; Hunter et al., 2004). したがって, これらの先行研究の指摘と本研究の結果を合わせると, 最大スピード局面において, ストライドの優位性が高いタイプの競技者では, 特に7歩目付近以降のピッチを低下させることなくストライドが高まること, 一方, ピッチの優位性が高いタイプの競技者では, 7歩目付近以降のストライドを低下させることなくピッチが高まること, より高い最大疾走スピードへ到達することに影響する可能性がある.

本研究の限界として, 分析した変数が疾走スピード, ピッチ, ストライド, 接地時間, 滞空時間のみであったため, SL-type ではストライドに, SF-type ではピッチに差が生じたことに対するより詳細な制限要因を明らかにするまでには至っていない. したがって, 今後は走技術に関わるキネマティクスデータの収集を行うとともに, 個人内でのスプリントパフォーマンスの向上過程に関する縦断的な検証を通じて, 最大疾走スピードを高めるための加速局面の疾走方法を明らかにしていくことが課題である.

### 3. 実践への示唆

本研究の結果から, 最大スピード時のステップタイプによって加速局面の疾走動態が異なること, そして7歩目(約9 m 付近)以降のピッチまたはストライドの動態が, より高い最大スピードに到達することに対する制限要因の1つである可能性が示された. 以上の結果から, 本研究の意義である競技者の特性に応じたトレーニング方法を立案する際の有用な知見を提示するため, 1点目として短距離走競技者のステップタイプを把握するための基準を, 2点目としてトレーニングへの具体的な応用について実践への示唆を示す.

1点目に関して, Fig. 6 にステップタイプを判断するための基準値を示した. 30—60 m 区間の



**Fig. 6** Step-type distribution map seen from the relationships among step variables (step frequency, step length, and the ratio of step frequency to length: RFL) in 30—60 m section. Solid line: represents the value of 95% confidence interval of RFL in SL-type's subjects. Dashed line: represents the value of 95% confidence interval of RFL in SF-type's subjects.

平均ピッチとストライドを基に、各ステップタイプの分布を示し、図中の破線と実線は、考察でも示したSF-type（破線）とSL-type（実線）におけるピッチ・ストライド比の95%信頼区間を表している（SF-type: 2.39—2.47, SL-type: 2.01—2.09）。ピッチ・ストライド比が高い値ほど、または低い値ほど、SF-type と SL-type の特徴を示していると解釈すれば、本研究の分析対象範囲内の記録を有する競技者（10.37—11.28秒）においては、ピッチ・ストライド比が2.39以上の場合にはSF-type、2.09以下の場合にはSL-typeとして、ステップタイプを判断することができるであろう。なお本研究では、加速や減速局面の影響を排除するため、30—60 m 区間のピッチ・ストライド比を用いたが、実践現場において、この区間の歩数を計測することは容易ではないと考えられる。より簡便に判断する方法としては、100 m 全体の歩数からピッチ・ストライド比を算出する方法がある。その理由としては、30—60 m 区間と0—100 m のピッチ・ストライド比の間には、極めて高い相関係数が示され ( $r=0.98, p<0.05$ )、またレース時にカメラが1台あれば、歩数を算出できるためである。SF-type と SL-type の0—100

m におけるピッチ・ストライド比の95%信頼区間は、SF-type で2.42—2.51, SL-type で2.06—2.15となる。したがって、100 m 全体の歩数からピッチ・ストライド比を算出した場合は、2.42以上をSF-type、2.15以下をSL-typeとして、ステップタイプをだまかに判断できると考えられる。

2点目に関して、スティックなどを用いて歩幅を制限することで、ピッチ、ストライドを変化させるトレーニング (Korchemny, 1994) への応用を示す。これはスプリント走におけるピッチ、ストライドの改善を目的として用いられるトレーニングの1つである。100 m レースタイムと最も関係性の高い30—60 m 区間の走スピードを高めることを目標として、歩幅の制限によるトレーニングを用いる際は、本研究の結果を考慮すると少なくとも16—18歩以上のスプリント走を行える走行距離を確保することが必要となるであろう。そしてSF-type の競技者では7歩目以降のピッチが、SL-type では7歩目以降のストライドが徐々に高まるような歩幅の設定が、30—60 m 区間のピッチ、ストライドの改善に影響を与える可能性があるだろう。

## V. 要 約

本研究の目的は、短距離走競技者のピッチとストライドの優位性に着目してステップタイプを分類することで、ステップタイプ毎の100 m レースにおける加速局面の1歩毎のピッチ、ストライドの動態の相違点を検討すること、さらに同じステップタイプ内におけるパフォーマンス上位者と下位者の比較から、ステップタイプ毎に最大疾走スピードが高い競技者の加速局面の疾走動態の特徴を明らかにすることであった。公認競技会における男子100 m レースに出場した59名の男性学生競技者（100 m 走シーズンベスト記録：10.68 ± 0.22秒）を対象者とし、100 m 走中の30—60 m 区間のピッチ・ストライド比を指標として、クラスター分析を用いてステップタイプを分類した。またステップタイプ内の30—60 m 区間の平均疾走スピードの平均値を基準として、上位群

(Good) と下位群 (Poor) に群分けし、加速局面の疾走動態を比較した。主な結果は、以下の通りである。

- 1) クラスタ分析の結果、競技者は SL-type, SF-type, Mid-type の3つのステップタイプに分類された。
- 2) ステップタイプ間の100 m レースタイム、各区間の平均疾走スピードに差は認められなかったが、身長、総歩数、ストライド指数、ピッチ指数に差が認められた。
- 3) 加速局面のピッチ、ストライドの1歩毎の動態は、全ての歩数において、SL-type と SF-type 間に有意差が認められた。また接地時間と滞空時間ともに、SL-type が SF-type より有意に長かった。
- 4) SL-type-Good 群は、SL-type-Poor 群と比較して30—60 m 区間の平均ストライドが大きく、平均ピッチに差は認められなかった。加速局面の1歩毎のストライドを検討した結果、7歩目以降のストライドが有意に大きかった。
- 5) SF-type-Good 群は、SF-type-Poor 群と比較して30—60 m 区間の平均ピッチが高く、平均ストライドに差は認められなかった。加速局面の1歩毎のピッチを検討した結果、7歩目以降のピッチが有意に高かった。

以上の結果から、最大スピード局面のピッチとストライドの組み合わせから分類されたステップタイプによって、100 m レース中の加速局面の疾走動態は異なること、そして、高い最大疾走スピードを示す競技者の加速局面の疾走動態の特徴は、ステップタイプによって異なる可能性が示された。これらの結果は、短距離走を専門とする男性競技者の100 m 走パフォーマンスの向上を目的としたトレーニングにおいて、競技者のステップタイプを考慮した指導方法を立案する際の有用な知見になると考えられる。

## 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100 m レースパ

ターンの分析—男子を中心に—。世界一流競技者の技術。第3回世界陸上選手権大会バイオメカニクス班報告書。日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス班編。ベースボールマガジン社：東京，pp. 14—28。

Alexander, R. McN. (1977) Terrestrial locomotion, In: Alexander, R. McN. and Goldspink, G. (Eds) Mechanics and energetics of animal locomotion. Chapman and Hall: London, pp. 168—203.

Bezodis, I.N., Kerwin, D.G., and Salo, A.I.T. (2008) Lower-limb mechanics during the support phase of maximum-velocity sprint running. Med. Sci. Sports Exerc., 40(4): 707—715.

Delecluse, C.H., Coppenolle, H.V., Willems, E., Diels, R., Goris, M., Van Leemputte, M., and Vuylsteke, M. (1995) Analysis of 100 meter sprint performance as a multidimensional skill. Journal of Human Movement Studies, 28: 87—101.

Dorn, T.W., Schache, A.G., and Pandy, M.G. (2012) Muscular strategy shift in human running: dependence of running speed on hip and ankle muscle performance. The Journal of Experimental Biology, 215: 1944—1956.

Fukunaga, T. and Matsuo, A. (1981) Mechanical energy output and joint movements in sprint running. Ergonomics, 24(10): 765—772.

Gajer, B., Thepaut-Mathieu, C., and Lehenaff, D. (1999) Evolution of stride and amplitude during course of the 100 m event in athletics. New Studies in Athletics, 14(1): 43—50.

羽田雄一・阿江通良・榎本靖士・法元康二・藤井範久 (2003) 100 m 走における疾走スピードと下肢関節のキネティクスの変化。バイオメカニクス研究, 7(3): 193—205.

Hay, J.G. (1993) Track and field running. The biomechanics of sports techniques, fourth edition. In: Bolen, T. and Ricker, E. (Eds.) Prentice-Hall: New Jersey, pp. 396—411.

Hunter, J.P., Marshall, R.N., and McNair, P.J. (2004) Interaction of step length and step rate during sprint running. Med. Sci. Sports Exerc., 36(2): 261—271.

Hunter, J.P., Marshall, R.N., and McNair, P.J. (2005) Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. Journal of Applied Biomechanics, 21: 31—43.

伊藤 章・市川博啓・齊藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・小林寛道 (1998) 100 m 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.
- 伊藤 章・斉藤昌久・淵本隆文 (1997) スタートダッシュにおける下肢関節のピークトルクとピークパワー, および筋放電パターンの変化. 体育学研究, 42: 71-83.
- 伊藤浩志・村木征人・金子元彦 (2001) スプリント走加速局面における主観的努力度の変化がパフォーマンスに及ぼす影響. スポーツ方法学研究, 14(1): 65-76.
- 伊藤信之・新井健之・深代千之・阿江通良 (1994) 水平跳躍種目(走幅跳及び三段跳)の助走分析. 世界一流競技者の技術. 第3回世界陸上選手権大会バイオメカニクス班報告書. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス班編. ベースボールマガジン社: 東京, pp. 123-134.
- 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.
- 金高宏文・松村 勲・瓜田吉久 (2005) 100 m 走の加速区間における局面区分の検討—疾走速度, ストライド及びピッチの一步毎の連続変化を手がかりにして—. スプリント研究, 15: 89-99.
- Korchemny, R. (1994) Speed development training menu. *Track technique*, 129: 4105-4110.
- Kunz, H. and Kaufmann, D.A. (1981) Biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. *Brit. Journal of Sports Medicine*, 15(3): 177-181.
- Mackala, K. (2007) Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 meters. *New Studieds in Athletics*, 22(2): 7-16.
- 松田有司・山田陽介・赤井聡文・生田泰志・野村照夫・小田伸午 (2010) 100 m 自由形におけるストローク頻度とストローク長からみた泳タイプ分類. 体力科学, 59: 465-474.
- Mero, A., Komi, P.V., and Gregor, R.J. (1992) Biomechanics of Sprint Running. *Sports Medicine*, 13(6): 376-392.
- 宮下 憲・阿江通良・横井孝志・橋原孝博・大木昭一郎 (1986) 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析. *Jpn. J. Sports Sci.*, 5: 892-898.
- 持田 尚・小林 諭・繁田 進・有吉正博 (1999) 100 m 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(3): 2-14.
- 森丘保典・阿江通良・岡田英孝・高松潤二・宮下 憲 (1997) 100 m 疾走における下肢動作の変化の分析—下肢動作検出装置の開発と応用—. *Jpn. J. Sports Science*, 16(1): 111-118.
- 村木征人・宮川千秋 (1973) 短距離疾走の加速過程における運動の変化—歩幅, サイクル数, 上体の前傾, および下肢関節群を中心として—. *東海大学紀要体育学部*, 3: 55-72.
- 小木曾一之・関岡康雄・森田正利 (1991) 全力疾走中の回復期後半における下肢の動きのバイオメカニクスの研究—加速区間, 最大速度区間, 速度維持区間の疾走フォームを比較して—. *陸上競技研究*, 5(1): 2-8.
- 太田 涼・有川秀之 (1999) 100 m レース中の疾走速度, ピッチ, ストライドの変化について—日本と世界一流選手との比較—. *陸上競技研究*, 37(2): 8-16.
- 大道 等・宮下充正 (1982) 数値データの移動平均による平滑化. *体育の科学*, 32(1): 65-71.
- Salo, A.I.T., Bezodis, I.N., Batterham, A.M., and Kerwin, D.G. (2011) Elite Sprinting: are athletes individually step-frequency or step-length reliant?. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43(6): 1055-1062.
- Schiffer, J. (2009) The sprints. *New Studies in Athletics*, 24(1): 7-17.
- 杉林孝法・村木征人・伊藤浩志 (2003) 全力疾走反復条件下におけるパフォーマンス動態. *スポーツ方法学研究*, 16(1): 27-37.

(平成25年2月27日受付)  
(平成25年7月10日受理)