

博士論文

ステップタイプに応じた
100m 走の加速局面に対する指導の着眼点

平成 26 年度

筑波大学大学院 人間総合科学研究科 コーチング学専攻

内藤 景

目次

用語の定義	vii
略語の定義	viii
表のタイトル一覧	ix
図のタイトル一覧	xi
関連論文	xiv
I. 緒言	1
II. 文献研究	6
1. 100m 走のパフォーマンス構造とパフォーマンスへ影響する要因	6
(1) 100m 走中の走速度の変化	6
(2) 100m 走におけるピッチ，ストライド，走動作の変化と加速局面の定義	8
(3) 100m 走パフォーマンスが優れるスプリンターのスプリントパフォーマンスの特徴	12
(4) スプリントパフォーマンスと下肢の筋力・パワー発揮能力の関係	21
2. スプリントパフォーマンスの縦断的变化過程に関する研究	23
3. 走速度とピッチおよびストライドの関係，ピッチおよびストライドに影響する要因	25
(1) ランニングからスプリントへの走速度増加に伴うピッチ・ストライドの変化	26
(2) スプリントにおけるピッチ・ストライドの大きさに影響する要因	28

4. スプリンターの形態およびピッチ・ストライドの特性に応じたスプリントパフォーマンスの特徴	31
III. 本研究の目的, 課題, 意義, 仮説および限界	36
1. 研究の目的	36
2. 研究の課題	37
3. 研究の意義	38
4. 研究の仮説	39
5. 研究の限界	39
(1) 作業上の仮定	39
(2) 一般化・普遍化に関する限界	40
(3) 研究方法上の限界	40
IV. スプリンターのステップタイプに応じた 100m レース中の加速局面におけるピッチとストライドの動態 (研究課題 1)	41
1. 目的	41
2. 方法	44
(1) 被検者	44
(2) データ収集	44
(3) 測定項目およびデータ処理	46

(4) 統計処理	49
3. 結果	49
(1) ステップタイプの分類と加速局面のピッチとストライドの動態	49
(2) ステップタイプ内における最大走速度が異なるスプリンターのピッチとストライドの動態	56
4. 考察	60
(1) 100m レースにおけるステップタイプと加速局面のピッチとストライドの動態	61
(2) ステップタイプに応じたより高い最大走速度に到達するための加速の仕方	63
5. 要約	68
V. 異なるステップタイプのスプリンターにおける形態と加速および最大速度局面の走動作の特徴（研究課題 2）	70
1. 目的	70
2. 方法	72
(1) 被検者	72
(2) データ収集および測定項目	73
(3) 統計処理	79
3. 結果	80
(1) タイプ別にみた形態および下肢の筋力・パワー発揮能力の比較	81
(2) ステップタイプ別にみた最大速度局面と加速局面における走動作の比較	87

4. 考察	97
(1) SF-type と SL-type の体力および形態的特徴	97
(2) 最大速度局面におけるステップタイプ別の走動作の特徴	99
(3) 加速局面におけるステップタイプ別の走動作の特徴	101
5. 要約	104
VI. 専門的準備期から試合期への加速局面におけるスプリントパフォーマンスの縦断的変 化（研究課題 3）	106
1. 目的	106
2. 方法	108
(1) 被検者	108
(2) 測定時期とデータ収集およびデータ処理	108
(3) 測定項目	110
(4) 統計処理	114
3. 結果	115
(1) 専門的準備期から試合期へのスプリントパフォーマンスの変化	115
(2) スプリントパフォーマンスの変化と 5m, 15m, 25m, 45m 地点における走速度の 変化との関係	118
(3) 15m 地点における走速度の変化と、ピッチ、ストライド、支持時間、滞空時間、 支持距離、滞空距離の変化との関係	118

(4) 15m 地点における走速度, ピッチ, ストライドの変化と, 下肢関節・部分の動きの 変化との関係	122
4. 考察	125
(1) スプリントパフォーマンスの変化に影響するトランジション局面初期のピッ チ・ストライドの変化.....	125
(2) スプリントパフォーマンスの変化に影響するトランジション局面初期の走動作	128
5. 要約	132
 VII. 総合考察：ステップタイプに応じた 100m 走の加速局面に対する指導の着眼点	134
1. 日本人学生スプリンターにおけるステップタイプの分類.....	135
(1) ステップタイプの異なるスプリンターの特徴.....	135
(2) 日本人学生スプリンターにおけるステップタイプの分類基準.....	138
2. ステップタイプに応じた加速局面の走速度向上に影響する要因	143
(1) ピッチおよびストライドの動態について.....	143
(2) 走動作について	145
3. スプリントパフォーマンスの変化に伴う 100m レース中のピッチとストライドの 変動	147
4. ステップタイプに応じた加速局面の指導に対する着眼点	154
(1) ステップタイプに応じた指導の留意点.....	154
(2) ステップタイプに応じた指導に対する実践的示唆.....	156

5. 今後の課題	158
(1) 分析対象者のスプリントパフォーマンスの範囲	158
(2) 縦断的変化の分析期間	159
(3) 走動作の 3 次元分析	160
(4) トレーニング介入によるスプリントパフォーマンスの縦断的変化	160
VII. 結論	162
謝辞	164
参考文献	165

用語の定義

1) スプリンター

スプリンターは、陸上競技における短距離走種目を専門とする競技者および、110m ハードル走および 100m ハードルの障害走種目を専門とする競技者を示している。110m ハードル走、100m ハードル走は、「スプリントハードル」と呼ばれることを踏まえ、本研究では短距離走または障害走を専門とする競技者を「スプリンター」とした。

2) ステップタイプ

本研究におけるステップタイプとは、最大速度局面におけるピッチとストライドの平均値の比率（ピッチ / ストライド、ピッチ・ストライド比）から判断されるスプリンターのタイプを示している。ピッチ・ストライド比が高い者ほど、ピッチへの優位性が高いピッチ型（SF-type）を、低い者ほどストライドへの優位性が高いストライド型（SL-type）であると判断した。

3) 形態

一般に、身長、体重、体型、身体各部分の長さや太さなどの身体を外的に計測して捉えたからだつきをいう（横井，1986）。本研究では、走動作への影響が大きいと考えられる身長、体重、下肢各部分の長さを形態とした。

略語の定義

本研究において用いる主な略語は、以下の通りである。

SL : Stride length 区間距離をその区間に要した歩数で割ったもの。または 1 サイクルの身体重心の水平変位。

1 歩毎に算出したストライドは、Step length と表記。

SF : Stride frequency 区間に要した歩数を、その区間に要した時間で割ったもの。または 1 サイクルに要した時間の逆数。

1 歩毎に算出したピッチは、Step frequency と表記。

CM : Center of mass 身体重心

SJ : Squat jump 膝関節を 90 度屈曲した姿勢から行う垂直跳

CMJ : Counter movement jump カウンタームーブメント型の垂直跳

RJ : Rebound jump その場でのリバウンド型のジャンプ

RJ-index : Rebound jump index リバウンドジャンプ指数

SLJ : Standing long jump 立幅跳

SFJ : Standing five jump 立五段跳

表のタイトル一覧

IV. スプリンターのステップタイプに応じた 100m レース中の加速局面におけるピッチとストライドの動態 (研究課題 1)

Table 4-1 Comparison of selected parameters in 100-m race and mean of sprint speed in each phases among the step-types.

Table 4-2 Comparison of selected parameters in the 100-m race and each pahse (maximaum speed and acceleration) between faster sprinters (Good) and slower (Poor) in each step-type.

V. 異なるステップタイプのスプリンターにおける形態と加速および最大速度局面の走動作の特徴 (研究課題 2)

Table 5-1 Comparison of sprint ability and anthropometric characteristics among the step-types.

Table 5-2 Comparison of muscle strength, jumping performances and anaerobic power among the step-types.

Table 5-3 Comparison of sprinting kinematic variables at 45-m among the step-types.

Table 5-4 Comparison of sprinting kinematic variables at 15-m among the step-types.

Table 5-5 Comparison of selected sprintin kinematic variables at 15-m and 45-m among the step-types.

VI. 専門的準備から試合期への加速局面におけるスプリントパフォーマンスの縦断的变化

(研究課題 3)

Table6-1 Time and mean velocity of 60-m sprint running on SPP and CP.

Table 6-2 Relationships between the rate of change in 1cycle stride frequency, stride length, contact time, flight time, contact distance and flight distance at 15-m mark.

Table 6-3 Relationships between the rate of change in the kinematic data of stance leg at 15-m mark.

Table 6-4 Relationships between the rate of change in the kinematic data of recovery leg at 15-m mark.

VII. 総合考察：ステップタイプに応じた 100m 走の加速局面に対する指導の着眼点

Table7-1 The value of 95% confidence interval in 100-m time, ratio of SF / SL for 30 – 60m, steps for 100-m, ratio of SF / SL and body height among step-types and WTS (World top sprinters).

Table 7-2. Characteristics of each athlete.

図のタイトル一覧

IV. スプリンターのステップタイプに応じた 100m レース中の加速局面におけるピッチとストライドの動態 (研究課題 1)

Fig.4-1 Relationships between average sprint speed and step length (a), step frequency (b), ratio of step frequency and length (c) during 30 – 60m section.

Fig.4-2 Step-types classification according to cluster analysis.

Fig.4-3 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.

Fig.4-4 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).

Fig.4-5 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).

V. 異なるステップタイプのスプリンターにおける形態と加速および最大速度局面の走動作の特徴 (研究課題 2)

Fig.5-1 Definition of the sprint event, segment and joint angles.

Fig.5-2 Step-types classification according to cluster analysis.

Fig.5-3 Comparison of stride frequency, stride length and the ratio of stride frequency and length in 60-m sprinting among the step-types.

Fig.5-4 Comparison of stride frequency index and stride length index in 60-m sprinting among the step-types.

Fig.5-5 Averaged patterns of segment angle displacement of thigh, shank and foot segments during each phase at 45-m.

Fig.5-6 Averaged patterns of segment angular velocity of thigh, shank and foot segments during each phase at 45-m.

Fig.5-7 Averaged patterns of segment angle displacement of thigh, shank and foot segments during each phase at 15-m.

Fig.5-8 Averaged patterns of segment angular velocity of thigh, shank and foot segments during each phase at 15-m.

Fig.5-9 Averaged patterns of joint segment angle displacement of hip, knee and ankle joints during support phase at 15-m and 45-m.

VI. 専門的準備から試合期への加速局面におけるスプリントパフォーマンスの縦断的变化 (研究課題 3)

Fig.6-1 Definition of the sprint event, segment and joint angles.

Fig.6-2 Changes of the sprint velocity, stride length and stride frequency in 60-m sprint.

Fig.6-3 Relationships between the rate of change in the 60-m and the each mark sprint velocity.

Fig.6-4 Relationships between the rate of change in 1cycle sprint velocity, stride frequency and stride length at 15-m mark.

VII. 総合考察：ステップタイプに応じた 100m 走の加速局面に対する指導の着眼点

Fig.7-1 Step-type distribution map seen from the relationships among step variables (stride frequency, stride length and the ratio of stride frequency and length: RFL) in 30 – 60m (40 – 60m) section.

Fig.7-2 Change of the 100-m race performance and the ratio of stride frequency and length in 30 – 60m.

Fig.7-3 Changes of the stride frequency and stride length in 0 – 100m.

関連論文

本論文は、以下の学術論文および学会発表をもとにまとめられたものである。

【学術論文】

内藤 景・苅山 靖・宮代賢治・山元康平・尾縣 貢・谷川 聡 (2013) 短距離走競技者のステップタイプに応じた 100m レース中の加速局面の疾走動態. 体育学研究, 58 (2) : 523-538.

内藤 景・山元康平・苅山 靖・谷川 聡 (2014) 異なるステップタイプのスプリンターにおける筋パワーおよび形態と加速および最大速度局面の走動作の特徴. 投稿準備中

内藤 景・山元康平・苅山 靖・谷川 聡 (2014) 専門的準備期から試合期への加速局面におけるスプリント走パフォーマンスの縦断的变化. 陸上競技研究, 98 (3) : 16-27.

【査読付学会議事録】

Naito, H., Kariyama, Y., Miyashiro, K., Yamamoto, K., and Tanigawa, S. (2013) Type-specific step characteristics of sprinters during acceleration phase of 100-m race. Proceedings of the 31st Congress of the International Society of Biomechanics in Sports, Taipei, Taiwan: P01-7 ID78.

【学会発表】

内藤 景・荻山 靖・山元康平・宮代賢治・谷川 聡・尾縣 貢：100m 走パフォーマンスと加速局面の疾走-1 サイクル毎のピッチ・ストライドに着目して - . 日本陸上競技学会 第 10 回大会（神奈川），2011 年 12 月.

内藤 景・荻山 靖・宮代賢治・谷川 聡：100m 走パフォーマンスと加速局面のピッチ・ストライド動態の関係：個人内レースの比較に着目して. 日本体育学会 第 63 回大会（神奈川），2012 年 8 月.

Naito, H., Kariyama, Y., Miyashiro, K., Yamamoto, K. and Tanigawa, S. Type-specific step characteristics of sprinters during acceleration phase of 100-m race. Proceedings of the 31st Congress of the International Society of Biomechanics in Sports (Taipei, Taiwan), 2013 年 7 月.

内藤 景・山元康平・宮代賢治・谷川 聡：100m レースの疾走速度向上に伴うピッチとストライドの変動性. 日本スプリント学会 第 24 回大会（大阪），2013 年 11 月.

内藤 景・荻山 靖・谷川 聡：専門的準備期から試合期への加速局面における疾走能力と走動作の縦断的变化. 日本体育学会 第 65 回大会（岩手），2014 年 8 月.

【学会賞】

The 31st Congress of the International Society of Biomechanics in Sports (2013) New Investigator Award (2nd), TYPE-SPECIFIC STEP CHARACTERISTICS OF SPRINTERS DURING ACCELERATION PHASE OF 100-M RACE.

I. 緒言

走運動は、人類が直立歩行を獲得し狩猟生活を営んでいく上で、逃げる獲物を追いかけるため、また外敵から身を守るために、より素早く身体を移動する動作様式として形成され、発達してきたと考えられている（小林，1990）．すなわち、走運動そのものが生活や生存に必要なものであったため、古くからその走能力を競うゲームが生活の中で行われ（宮丸，1976），人間は「走る」という行為を生活手段から切り離し、「走る速さを競う」という競技形態を生み出した．組織的な競技会として最も古いのは、古代ギリシャの祭典競技（紀元前 776 年）であり、短距離走は 1 スタディオン走（191.27m）として第 1 回から実施され、近代オリンピックでは 100m 走へとその歴史を引き継いでいる．陸上競技短距離走種目の中でも 100m 走は、人類最速の称号が与えられる花形種目であるといわれ、オリンピックや世界選手権の決勝レースは、新聞やテレビで大きく報道されるため世界中から大きな注目を浴びてきた．陸上競技における公式の 100m 走の世界記録は、1912 年のストックホルム五輪でアメリカのドナルド・リッピンコットが記録した 10.6 秒から始まり、現在では 2009 年の世界選手権でウサイン・ボルトが記録した 9.58 秒にまで向上している．この記録の向上の背景には、1948 年のオリンピックから採用されるようになったスターティングブロックや、1968 年に出現した全天候型走路、そしてスパイクシューズの改善などの貢献が大きいと考えられる．さらに、これらの外的要因の改善以外にも、速く走ることが科学的な研究対象となり、科学的データに基づいた合理的な走技術やトレーニング方法が示されてきたこと（深代，2003）も影響していると考えられる．

100m 走は、走速度の変化から加速局面、最大速度局面、減速局面の 3 つの走局面に分けて研究されてきた (Debaere et al., 2013 ; Delecluse et al., 1995 ; Gajer et al., 1999 ; Mero et al., 1992 ; 宮丸, 1976 ; 村木・宮川, 1973 ; Schiffer, 2009) . 各走局面では、「静止状態からのスタートと爆発的な加速疾走→最高速度に達しての全速疾走→レース後半での全速疾走の維持とフィニッシュ」の異なる運動課題が求められ (宮丸, 1976) , 100m 走ゴールタイムは、最大速度局面における最大走速度によって決定されることが分かっている (阿江ほか, 1994 ; Gajer et al. , 1999 ; Mackala, 2007 ; 松尾ほか, 2010) . 各走局面の支持時間、姿勢、脚の動作に着目すると、スタート局面と加速局面では支持時間が長く、体軸が前傾し、下肢関節の伸展動作によって身体重心を前方向へと押し進めるキック動作を示す。しかし、走速度が徐々に増加し最大走速度に近くなるにつれて、支持時間が短くなり、体軸が起きあがることで、身体重心の落下を受けとめ、空中へ跳ね返す受け動作と、前後への脚の回転動作へと走動作が変化し (van Ingen Schenau et al., 1994 ; 村木・宮川, 1973 ; 図子, 2009) , 走局面によって走動作が時々刻々と変化していくこと (村木・宮川, 1973 ; Nagahara et al., 2014 b) で最大走速度に到達する。したがって、100m 走は誰もがができる「かけこ」を単純に競技化したもの (宮丸, 1976) である一方で、人間が定められた短い距離の中で、より高い最大走速度を獲得するために合理的に走るという運動課題の達成を目的とした、極めて専門的な競技であると捉えられる。

100m 走中の最大走速度は、距離にすると 40 – 60m で出現すること (阿江ほか, 1994 ; Gajer et al., 1999 ; 金高ほか, 2005 ; Mackala, 2007 ; 小木曾ほか, 1997) が指摘されている。この最大走速度が 100m 走ゴールタイムに大きな影響を及ぼすため、レース中の最大速度

局面におけるストライド、ピッチ、走動作のデータを収集し、パフォーマンス水準が異なるスプリンター間の比較（伊藤ほか，1994 a；伊藤ほか，1998；Kunz and Kaufmann, 1981；Mann and Herman, 1985；宮下ほか，1986；矢田ほか，2011，2012），スプリントパフォーマンスの縦断的变化に関する研究（新井ほか，2004；稲葉ほか，2002；黒澤ほか，2005；中田ほか，2003）が多く行われてきた．しかし，先述したスタートから最大走速度に到達するまでの 100m 走のパフォーマンス構造から，最大走速度は加速局面を経て到達すること（Schiffer, 2009），最大走速度に到達するまでの時間は年齢，性，疾走能力，トレーニングの有無に関わらず 5－7 秒であること（小木曾ほか，1997）を踏まえると，最大走速度に到達するまでの加速局面で高い走速度へ到達できることが，100m 走ゴールタイムを短縮させる要因となる（小林ほか，2009；Schiffer, 2009）．したがって，最大走速度を高めるための知見を得るには，加速局面におけるスプリントパフォーマンスを検討する必要がある．

加速局面を対象とした研究では，最大走速度に到達するまでの走速度，ピッチ，ストライド，走動作，地面反力に関する 1 歩毎の連続的なデータを収集した研究が行われてきた（Debaere et al., 2013；Delecluse et al., 1995；Fukunaga and Matsuo, 1981；金高ほか，2005；小林ほか，2009；Morin et al., 2012；Nagahara et al., 2014a；Nagahara et al., 2014b）．Delecluse et al.（1995）は，100m 走の加速局面を初期加速局面（0－10m）と，トランジション局面（10－36m）に区分し，走速度を増加させるための異なる能力が求められること（Debaere et al., 2013；Delecluse et al., 1995）を指摘している．しかし 100m レース中の加速局面における走速度，ピッチ，ストライドの連続的データを収集し，最大走速度が異なるスプリンター間の差を検討した研究は金高ほか（2005）しか見当たらず，どの局面または歩数から

ピッチ、ストライドの差が生じるのかは明らかにされていない。また、加速局面を対象としたスプリントパフォーマンスの縦断的変化過程に関する研究が行われていないため、どのような走動作の変化が走速度の向上に影響するのも明らかにされていない。したがって、100m 走パフォーマンスの向上を目的とした、加速局面の指導に対する知見を収集することは、スプリント研究における重要な研究課題の一つであると考えられる。

走速度は歩幅を示すストライドと、単位時間あたりの歩数を示すピッチの積によって決定される (Hay, 1993)。ピッチとストライドの間には、ピッチが高ければストライドが小さく、ストライドが大きければピッチが低いといった相互関係が存在すること (Hunter et al., 2004)、身長や下肢長がその相互関係に影響すること (Hoffmann, 1971) が報告されている。そのため、より高い走速度を獲得するためのピッチとストライドの組み合わせは、スプリンターによって異なることが指摘されている (Donati, 1995 ; Kunz and Kaufmann, 1981 ; Schiffer, 2009)。さらに 100m 走競技者はピッチ型とストライド型に大別され、各競技者の特性を活かしたスプリントスタイル (以下、ステップタイプと表記) を有していることが報告されている (阿江ほか, 1994 ; 宮下ほか, 1986 ; 杉田, 1997)。異なるステップタイプのスプリンターが混在している背景には、身長や下肢長は走速度の優劣には影響しない一方で、ピッチとストライドの大小に影響すること (Hoffmann, 1971 ; 宮丸, 1971 ; 永原・図子, 2014 ; 横井, 1988) が主な要因であると考えられる。すなわち、短距離走の指導を行っていく場合、異なるステップタイプのスプリンターが混在していることを考慮する必要がある。しかし、これまでの研究では、異なるステップタイプのスプリンターが存在することは示されてきたが、世界トップスプリンター数名の検証 (阿江ほか, 1994 ; 宮下ほ

か、1986) しかされていないため、日本人スプリンターにおける各ステップタイプの 100m レース中における総歩数や、走局面毎のピッチやストライドの平均的な値がどの程度なのか、ステップタイプの違いを生み出している形態・体力・技術的要因にどのような相違点があるのかといった点は明らかにされていない。また異なるステップタイプのスプリンターにおける走動作の特徴が検討されているが(宮下ほか、1986)、最大速度局面のみを分析対象としており、加速局面の走動作を検討した研究は行われていない。したがって、ステップタイプの違いを考慮した上で、加速局面におけるスプリントパフォーマンスを検討した研究が行われておらず、ステップタイプに応じた 100m 走の加速局面に対する指導の着眼点を示すような知見が得られていない。

以上のような背景から、ステップタイプの異なるスプリンター毎に、加速局面におけるピッチやストライドの動態と走動作を検証し、各ステップタイプに応じてパフォーマンスの差を生み出す要因を明らかにすることは、ステップタイプに応じた加速局面に対する指導の着眼点を示すことに繋がり、競技者の特性に応じた短距離走指導に大きく貢献できる重要な研究課題であると考えられる。

Ⅱ．文献研究

1. 100m 走のパフォーマンス構造とパフォーマンスへ影響する要因

(1) 100m 走中の走速度の変化

100m 走のゴールタイムは走速度の大きさによって決定されるため、走運動中の走速度の変化を定量化する試みが 1890 年代頃から開始され、現在ではオリンピックや世界選手権に出場する世界一流競技者の走速度を、レーザー式速度計測器によって即座に測定できるまでに至っている。また、走速度は歩幅を示すストライドと、単位時間あたりの歩数を示すピッチの積によって決定されるため、100m 走中のストライドとピッチの変化についても検討されてきた。本節では、100m における走速度の変化、走速度とゴールタイムの関係、100m 走中のストライドとピッチの変化、さらにスタートからゴールに到るまでの走動作の変化について明らかにした研究を概観し、100m 走のパフォーマンス構造とそれを決定する要因を検討する。

阿江ほか（1994）は、第 3 回世界陸上競技選手権大会の男子 100m 走に出場した世界トップスプリンターを対象に 100m 走中の走速度の変化を検討した結果、走速度は 0 - 20m 区間で急激に増加し、全分析対象者数のうち 60%以上のスプリンターが 40 - 60m 区間で最大走速度を示し、70m 地点以降で 6 - 7%の減少を示したことを報告している。

Delecluse et al.（1995）は、体育学生を対象に 100m 走中の走速度の変化を 2m 毎に検討した結果、走速度はスタート後 10m で急激に増加し、36m 地点で最大走速度に到達したのち、64m 地点では最大走速度の 98%に低下したことを示している。また、走速度をもとに

主成分分析を行った結果、100m 走はスタート後 10m 地点までの初期加速能力 (initial acceleration)、10m 地点から最大走速度に到達するまで加速し続ける能力 (continued acceleration)、最大走速度からフィニッシュするまで走速度を維持する能力 (maintaining a high maximum speed) によって構成され、加速局面は初期加速局面 (0 – 10m) とトランジション局面 (10 – 36m) に区分されることを報告している。

Gajer et al. (1999) は、ナショナルレベルのスプリンターを 100m 走パフォーマンスが高い群と、低い群の 2 群に分け、10m 区間毎の走速度について比較している。その結果、両群ともに走速度は 30m 地点まで急激に増加し、0 – 10m 区間から 10 – 20m 区間で 60% 以上、10 – 20m 区間から 20 – 30m 区間で 10% 以上の走速度増加を示し、30m 以降の区間では、走速度の増加は 5% 未満で 50 – 60m 区間にて最大走速度に到達したのち、ゴールに向かって 6 – 7% 程度の減少を示したことを報告している。さらに 100m 走パフォーマンスが高い群は、最大走速度が有意に高かったことを示している。100m 走中における 10m 区間毎の走速度を検討した報告 (羽田ほか, 2003 ; Mackala, 2007 ; 松尾ほか, 2010 ; 森丘ほか, 1997) では、阿江ほか (1994)、Gajer et al. (1999) と同様の結果が報告されている。さらに、100m 走中の走速度に関する研究から、およそ 40 – 60m 区間で到達する最大走速度が 100m 走ゴールタイムを決定する主要因であることが報告されている (阿江ほか, 1994 ; Gajer et al., 1999 ; Letzelter, 2006 ; Mackala, 2007 ; 松尾ほか, 2010 ; 太田・有川, 1999)。

以上のことから、100m 走は走速度の変化にもとづき、主に加速局面、最大速度局面、減速局面の 3 つの走局面に区分される (Debaere et al., 2013 ; Delecluse et al., 1995 ; Gajer et al., 1999 ; Mero et al., 1992 ; 宮丸, 1976 ; 村木・宮川, 1973 ; Schiffer, 2009)。そして 100m 走

パフォーマンスの向上には、いかなる競技水準のスプリンターであっても、最大走速度を高めることがトレーニングの最重要課題になると考えられる。そして 100m 走における各走局面では、「静止状態からのスタートと爆発的な加速疾走→最高速度に達しての全速疾走→後半での全速疾走の維持とフィニッシュ」の異なる運動課題が求められること (Delecluse et al., 1995 ; 宮丸 1976) を踏まえると、100m 走は、各走局面の課題を克服しながら、100m という定められた距離の中で、より高い最大走速度に合理的に到達することを目的とした競技であると捉えることができる。

(2) 100m 走におけるピッチ，ストライド，走動作の変化と加速局面の定義

走速度はピッチとストライドの積によって決定されるため、走速度を合理的に高めるための 100m 走およびスプリント走（クラウンチングスタートから最大走速度に到達するまでの全力疾走）におけるピッチおよびストライドの変化が検討されてきた。

世界陸上競技選手権大会における男子 100m 走のピッチ，ストライドを分析した阿江ほか（1994）は、高いパフォーマンスを示したスプリンターの特徴として、①0 - 20m 区間では、ピッチの急激な増加とストライドの増加によって走速度が増加、②20 - 40m 区間では、ピッチは減少するが、ストライドの急激な増加によって走速度はさらに増加、③40 - 60m 区間では、再びピッチが増加し始め、ストライドは減少するか一定に保たれ、④60 - 80m 区間では、ストライドが再び増加し、ピッチは徐々に減少を示し、⑤80 - 100m 区間では、ストライドが増加し続け、ピッチが減少することで走速度が低下することを報告している。

森丘ほか(1997)は、20m 地点までにピッチ、ストライドの両方が急激に増加し、20 – 30m 区間ではストライドの増加が著しく、30 – 50m 区間においてはストライドが増加するが、ピッチは30 – 40m 区間でわずかに増加したのち40 – 50m 区間で減少し、50m 地点以降ではストライドはほぼ一定に保たれ、ピッチが徐々に減少することを報告している。100m 走中のピッチとストライドの変化について、Gajer et al. (1999)、羽田ほか (2003)、Mackala (2007) も、阿江ほか (1994) および森丘ほか (1997) とほぼ同様の結果を示している。

100m レース中のスタートからゴールまでの走動作の変化を検討した研究は、これまでに行われていないが、実験的に100m または60m 走を行い、スタートからゴールまで、またはスタートから最大走速度に到達するまでの走動作の変化を捉えた研究がいくつか行われている。

村木・宮川 (1973) は、60m 走中の走動作の変化を検討し、加速過程では相対的に支持時間が長く、大きな推進力を得るために上体の前傾姿勢が深く、膝関節の深い屈伸動作が認められ、脚の回復時間が短く前方への脚の振り出しが少ない走動作を示すと指摘している。一方、最大走速度に到達した等速過程では、支持時間が短縮され、支持期中の膝関節の屈曲動作が小さく、脚の回復時間が延長されることで、股関節の前方への屈曲動作に膝関節の急速で深い屈伸動作が続く、ムチ運動のような脚の振り出しが特徴的な走動作へと変化することを報告している。

森丘ほか (1997) は、100m 走中における10m 毎の走動作の変化を検討している。その結果、スタートから走速度が増加していくにしたがって、支持期後半における膝関節の伸展動作が減少していくこと、腿上げ動作が大きくなり足部をより身体の前方に接地するよ

うに変化することを報告している．また最大速度局面では，加速局面よりもさらに支持期後半の膝関節の伸展動作が小さくなり，接地時の下腿角度が垂直位に近くなることを報告している．減速局面では，支持期後半の膝関節の伸展動作が大きくなり，身体の鉛直方向への加速度が増加すること，足の接地位置が身体の前方になることでブレーキを大きくする走動作へ変化することを示している．

羽田ほか（2003）は，100m 走中の回復脚におけるトルクやパワーといったキネティクスの変化を検討している．その結果，100m 走は0－20m の第1加速局面，20－50m の第2加速局面，50－70m の最大速度局面，70－100m の減速局面に区分されることを示している．そして，第1加速局面では股関節と膝関節における大きな伸展トルクの発揮が高い走速度の獲得に繋がること，最大速度局面と減速局面では，回復期前半における股関節屈曲筋群および，回復期後半から支持期前半における膝関節屈曲筋群で発揮されるトルクが重要な要因になることを報告している．

Nagahara et al. (2014 b) は，60 台の赤外線カメラを用いて，60m 走中の1歩毎の走動作の変化を検討している．その結果，身体重心高の変化をもとにすると，加速局面は平均 4.4 ± 0.9 歩目の第一区分点と，平均 14.1 ± 2.0 歩目の第二区分点で分けられ，1歩目から第一区分点までを初期局面（initial section），第一区分点から第二区分点までを中間局面（middle section），第二区分点から最大走速度に到達する歩数までを最終局面（final section）として3局面に区分されることを示している．そして初期局面では身体後方に接地し，膝関節では伸展動作のみが認められ，ストライドとピッチの増加によって走速度が増加する．中間局面では支持期での膝関節の屈曲と伸展動作が生じるとともに，身体前方へ接地し，頭部

と体幹部の姿勢が上昇することで身体重心高の増加が認められ、ストライドの増加によって加速していく。最終局面では股関節の動作範囲や速度が僅かに減少し、身体重心、頭部、体幹部の角度変化が一定になり、ストライドの増加によって走速度が僅かに増加し、加速局面では走速度を増加させるための方法が走局面によって異なることを報告している。

以上のことから、100m 走ではスタートから最大走速度に到達するまでの走速度増加に対応した走動作の変化が生じていると考えられる。すなわち、走速度が低く、地面に接する時間が比較的長い（0.1 – 0.2 秒）加速局面では、膝関節の伸展運動の要素が大きいピストン型の走動作を示すが、走速度が高くなり地面に接する時間が極めて短くなる（0.1 秒以下）最大速度局面では、支持期後半での膝関節の伸展動作が小さくなり、回復期における脚の前後への振り子運動の要素が大きいスイング型の走動作へと移行する（村木・宮川，1973；森丘ほか，1997）。したがって、100m 走においては各走局面の走速度の変化に対応して、走動作を変化させることで、より合理的に最大走速度へ到達することができると考えられる。またこのことは、走速度が定常状態である最大速度局面の分析だけでは、最大走速度を向上させるための知見としては不十分であり、加速局面も合わせてスプリントパフォーマンスを検討することが、100m 走のパフォーマンス向上に対する知見を得るために重要な観点であることを示唆している。

先述したように、100m 走は主に加速局面、最大速度局面、減速局面の 3 局面に区分されるが、ここまでに示した 100m 走中の走速度、ピッチ、ストライド、走動作の変化に関する先行研究の知見をもとにすると、100m 走における加速局面は以下のような局面としてさらに区分される。すなわち、支持期にて膝関節の屈曲動作がほとんど認められず伸展

動作のみを示しながら、ピッチとストライドの急激な増加によって走速度が大きく増加する第1加速局面、支持期での膝関節の伸展動作が小さくなり、頭部および上体が徐々に直立へと近づいていきながら、ピッチの増加よりもストライドの増加によって走速度が増加する第2加速局面である（羽田ほか，2003）．これら加速局面の名称については，第1加速局面が初期加速局面，第2加速局面がトランジション局面（Delecluse et al., 1995 ; Debaere et al., 2013 ; Johnson and Buckley, 2001）とも呼ばれている．本研究では，加速局面におけるピッチ，ストライド，そして走動作の変化に関して，1歩毎または2m毎の連続的变化を検討した先行研究（Debaere et al., 2013 ; Delecluse et al., 1995）をもとにし，加速局面の局面定義では，初期加速局面とトランジション局面の名称を使用する．

ここまでは，100m走およびスプリント走における一般的な走運動の変化を検討した研究を概観してきたが，より高い走速度へと走パフォーマンスを向上させるためには，100m走パフォーマンスが優れるスプリンターの特徴や，スプリントパフォーマンスが向上した際に生じる変化を明らかにすることが，競技力向上に対して有益な情報を提供すると考えられる．したがって，次節では100m走のパフォーマンスレベルが異なるスプリンターの比較によって得られてきた知見を検討する．

(3) 100m走パフォーマンスが優れるスプリンターのスプリントパフォーマンスの特徴

世界および日本におけるトップスプリンター間の比較，学生スプリンターと一般学生の比較といったスプリントパフォーマンスが異なる被検者の比較による横断的研究によって，スプリントパフォーマンスが優れる競技者のピッチ，ストライド，走動作に関する研究が

行われてきた。本節では最大速度局面、加速局面、スタートから最大走速度に到るまでの一連の走局面に分けて、スプリントパフォーマンスが優れるスプリンターの特徴を検討する。

1) 最大速度局面におけるスプリントパフォーマンスの特徴

Kunz and Kaufmann (1981) は、十種競技者と世界トップレベルのスプリンターにおける 100m レース中の 70m 地点の走動作を分析した。その結果、世界トップレベルのスプリンターは十種競技者と比較して、ストライドとピッチの両方が高く、接地時間が短いこと、身体重心の近くに足部を接地していること、離地時の体幹部が前傾していること、回復脚の大腿部角加速度が高いことを報告している。また接地時の両大腿角度が小さいほど、接地時間が短いことを指摘している。

Mann and Herman (1985) は、1984 年ロサンゼルスオリンピックにおける 200m レース中の 125m 地点の走動作を分析し、金・銀メダリストと 8 位のスプリンターの比較を行っている。その結果、金・銀メダリストは接地時間が短いためピッチが高いこと、離地時の重心鉛直速度が低く、離地時の大腿部の伸展動作が小さいため脚の回復が早く開始されていること、支持脚の大腿部の角速度が高いこと、足部が重心に近い位置に接地し、接地時における足部の後方への速度が高いことを報告している。

宮下ほか (1986) は、1984 年第 3 回 8 カ国対抗陸上競技大会における 100m レース中の 58m 地点の走動作を分析し、世界および日本トップスプリンターの比較を行った。その結果、世界トップスプリンターは、大腿部を腰よりも前方で大きく動かし、離地後では腰より後方での動きが小さいこと、下腿部が接地後に素早く足部に乗りかかり、大きくかつ素

早く動き、支持期後半で膝関節を大きく伸展していないことを報告している。

ここまでに示した研究では走速度と走動作の関係性が検討されてこなかったという問題を踏まえ、伊藤ほか（1994 a）は、1991 年第 3 回世界陸上競技選手権大会の 100m 走に出場した競技者の 60m 地点付近の走動作を分析し、走速度との関係性を検討している。その結果、より高い走速度は接地直前の振り戻し動作の速さと、接地から中間時点までの脚全体の後方スイングの速さで決定され、キック期後半の脚のスイング動作、キック終了後の腿上げや引き付け動作は走速度の高さに関係しないことを報告している。また伊藤ほか（1998）は、世界一流スプリンターから学生スプリンターを対象として、最大速度局面における走動作と走速度の関係性を検討し、回復期における腿上げ動作や、膝関節の引き付け動作と振り戻し動作は、走速度と関係性が認められないという伊藤ほか（1994 a）と同様の指摘をしている。さらに走速度が高いスプリンターほど支持期中の膝関節と足関節の伸展動作が小さく、股関節の伸展速度が脚全体のスイング速度に転換される合理的なキック動作を行っていたことを明らかにしている。

Bezodis et al.（2008）は、スプリントパフォーマンスが高い被検者を対象として、最大速度局面における支持脚の下肢三関節のトルク、トルクパワーを検討している。その結果、支持期にて股関節および足関節では大きな伸展パワーが発揮されていたが、膝関節ではその値が比較的小さく、膝関節は大きなパワー発生器としての役割を果たしていないことを報告している。

ここまでに示した研究は各群の平均値の比較によるものであるが、標準動作モデルを作成することによる走動作の比較も行われている。矢田ほか（2011）は、世界一流と学生ス

プリンターの 40 – 50m 区間の走動作を分析することで各群の標準動作モデルを作成し、世界一流スプリンターの走動作の特徴を検討している。その結果、世界一流スプリンターはストライドが大きいことで走速度が高いこと、動作の特徴としては回復脚の引き付け動作が早く、支持期において膝関節の屈伸と足関節の底背屈動作が小さいこと、離地時において下腿がより前傾していること、支持脚大腿部の後方へのスイング動作が小さいことを報告している。さらに矢田ほか（2012）は、世界一流と学生スプリンターの回復脚のトルクやトルクパワーの検討を行い、世界一流スプリンターは離地時から大きな股関節屈曲トルクを発揮することで、股関節屈曲速度を早期に大きくし、回復脚の引き付け動作を早めることができていることを報告している。

ここまでに示した研究から、100m 走パフォーマンスが高いスプリンターの最大速度局面における走動作の特徴に関しては、多くの知見が得られていることが分かる。すなわち、接地時間が短く、身体重心の真下近くに接地すること、支持脚の膝関節と足関節の伸展動作が小さいこと、回復脚を前方へ引き付ける動作が素早いこと、腿上げ動作が大きくないことが明らかにされている。しかし、先述したように、最大走速度が加速局面を経て到達することを踏まえると、最大走速度に到達した走局面の走動作を検討するだけでは、いかにして最大走速度を高めるのかという知見を導くには不十分であり、最大速度局面に先行する加速局面のスプリントパフォーマンスの特徴に着目することが必要である。

2) 加速局面におけるスプリントパフォーマンスの特徴

加速局面に着目した研究は、クラウンチングスタートから 1・2 歩目までのスタート動作

の研究, 15m 地点付近の走動作を検討した研究, スタートから最大速度局面に到るまでの走局面を分析した研究が行われている。

Mero et al. (1983) は, 100m 走を専門とするスプリンターを対象に, スタート動作と 2.5m 地点の動作分析を行い, 走速度の異なるグループ間の比較を行った。その結果, 走速度が高いスプリンターほど, スタート時のセットポジションにて体幹部が前傾しており両股関節角度が小さいこと, ブロックに作用させる水平方向および鉛直方向の力が大きいこと, 1・2 歩目の支持期前半における重心の下降が小さいこと, 2.5m 地点のピッチが高いことを報告している。

Kugler and Janshen (2010) は, 体育を専攻する学生を対象に, スタンディングスタートによるスプリントの 1 歩目, および一定速度の助走からスプリントを行った際の 2・3 歩目の地面反力の大きさとその方向, 重心変位の関係性を検討している。その結果, 高い推進力積を得るためには, ただ単に大きな地面反力を発揮するのではなく, 進行方向に傾いた角度で地面反力を作用させることが重要であり, これは身体重心よりも後方で接地することと, 支持時間を長くすることによって達成されることを示している。

伊藤ほか (1994 a) は, 第 3 回世界陸上競技選手権大会にて, 世界一流と国内一流スプリンターのスタートから 4 歩目までの走動作を検討し, スタートからの走速度の変化と支持期における股関節の最大伸展角速度には正の相関関係が, 膝関節の最大伸展角速度とは負の相関関係が認められたが, 足関節は関係性が認められなかったことを示している。この結果から, スタートから走速度を高めるためには, 股関節の伸展動作が重要であることを指摘している。

貴嶋ほか（2010）は、第 11 回世界陸上競技選手権大会の 100m 走に出場した世界一流と国内一流スプリンターのスタート動作について、伊藤ほか（1994 a）と同様の方法によって分析し、スタートダッシュでは、支持期にて下腿部が前傾位を保ったまま、膝関節が伸展されるキック動作が走速度の増加に影響することを報告している。

スタート時の走動作に関する研究では、2010 年以降、3 次元動作分析が行われるようになっていく（Debaere et al., 2012 ; Slawinski et al., 2010）。Slawinski et al. (2010) は、スターティングブロックからのスタート動作では、上肢と頭・体幹部が動き出し時の身体全体の運動エネルギーの増加に、下肢と頭・体幹部がブロックからの飛び出し時の運動エネルギー減少の抑制に貢献していることを報告している。Debaere et al. (2012) は、下肢が発揮したパワーに対する各関節の貢献度を検討した結果、スタート後 1 歩目では股関節 (54%) → 膝関節 (31%) → 足関節 (15%) の順であったが、2 歩目では股関節 (53%) → 足関節 (38%) → 膝関節 (9%) の順であったことを示し、1 歩目では膝関節伸展筋群が、2 歩目では足関節底屈筋群が走速度の増加に貢献することを報告している。

ここまで示した研究は、スタート後 10m 地点までを分析した研究であるが、10m 以降のトランジション局面（Debaere et al., 2013 ; Delecluse et al., 1995 ; Johnson and Buckley, 2001）に相当する、10 – 20m 付近の走動作を検討した研究もいくつか行われている。

Johnson and Buckley (2001) は、スプリンターを対象として、スタート後 14m 地点の下肢関節のトルクおよびトルクパワーを検討し、トランジション局面で走速度を生み出すための下肢動作を検討している。その結果、股関節 → 膝関節 → 足関節の順に近位から遠位へと正（伸展）パワーのピーク値が出現し、股関節で発揮されたパワーが膝関節を介して

足関節へと転換されることが重要であることを示している。そして回復期後半と支持期前半における短縮性の股関節伸展，支持期中盤後の短縮性の膝関節屈曲，支持期後半における短縮性の足関節底屈が，トランジション局面で走速度を生み出すために重要な働きをすることを指摘している。

Hunter et al. (2005) は，陸上競技，サッカー，ラグビーといったスプリントを含むスポーツ競技を専門とする競技者を対象に，スタンディングスタートによる 25m 走の 16m 地点における地面反力と走動作の関係性を検討している。その結果，走速度が高い競技者ほど体重あたりの推進力積が大きく，支持脚の股関節伸展速度の大きさが推進力積の大きさに関係することを報告している。

ここまでに示した研究は，スプリント中の加速局面における特定の歩数を検討したものであるが，スタートから最大走速度に到るまでの一連の走局面における走動作を検討した研究もいくつか行われてきた。

村木・宮川（1973）は，日本一流スプリンターと学生スプリンターを対象に，クラウチングスタートによる 60m 走中の走動作の変化を検討している。その結果，一流スプリンターは加速局面の前半（10m 地点まで）のピッチが高く，加速局面後半ではストライドが大きいく，スタートから最大走速度へと走速度が増加するにしたがって，大転子より前方での走動作が大きくなり，等速の全速状態へ移行した際のスプリントフォームが定常化せず変化し続けることを報告している。

小林ほか（2009）は，国内の一流スプリンターと学生スプリンターを対象に，クラウチングスタートから 50m までのスプリントを行い，加速局面における力積について検討して

いる。その結果、一流スプリンターは加速局面の高い走速度下においても、鉛直方向と水平方向へ大きな力積を発揮していることを報告している。

Debaera et al. (2013) は、男女一流スプリンターを対象に 60m 走を行い、スタートから最大速度局面までの一連のピッチ、ストライド、接地時間、滞空時間の検討を行っている。その結果、男女間でピッチに差は認められなかったが、男性スプリンターはトランジション局面（10–30m 区間）と最大速度局面のストライドが大きく、接地が短いことを報告している。

2010 年以降においては、スプリント中の 1 歩毎の変化を検討する研究が行われ始めている。Morin et al. (2012) は、スプリント中の地面反力を 1 歩毎に計測できる自走式トレッドミルを開発し、100m 走パフォーマンスを決定する力学的要因を検討した。その結果、100m 走パフォーマンスが高い競技者ほど、加速局面全体にわたって地面反力を進行方向へ傾けて作用させることができ、より短い接地時間で疾走することで高いピッチを獲得できることを報告している。

Nagahara et al. (2014 a) は、学生スプリンターを対象に、クラウチングスタートからの 60m 走を行い、1 歩毎の走速度、ピッチ、ストライドの変化率を検討し、加速度とピッチ・ストライドの変化率の相関関係を検討している。その結果、スタートから 3 歩目まではピッチの増加が走速度の増加に関係し、5 歩目から 19 歩目まではストライドの増加が走速度の増加に関係することを報告している。

ここまでの加速局面を分析対象とした研究から、スプリントパフォーマンスが優れる競技者の共通する特徴をまとめると、股関節の伸展動作によって高い推進力積を獲得できる

こと、地面反力を進行方向へ傾けて作用させる能力が高いことが挙げられる。ピッチやストライドに関しては、スタート後 10m 付近まではピッチを高めることが、10m 以降の加速局面後半ではストライドを高めることが重要であると考えられる。さらに走動作の特徴としては、身体全体の前傾が大きいこと、身体の後方へ接地すること、高い速度で股関節を伸展するといった点が明らかにされている。

以上のように加速局面に関する先行研究を概観した結果、スタート局面を分析対象とした研究は多いものの、スタートから最大走速度に到達するまでの一連の走局面や、トランジション局面を分析対象とした研究は非常に少ないことが分かる。最大走速度を高めるためには約 10–20m 地点から最大走速度に到達するまでの第 2 加速期の走能力を高める必要があるという指摘（阿江，2001；羽田ほか，2003）を踏まえると、村木・宮川（1973），Morin et al.（2012），Debaera et al.（2013），Nagahara et al.（2014 a, b）のようなスプリント中のスタートから最大走速度に到るまでの一連の走局面の分析を行い、どこの局面、距離、歩数から走速度、ピッチ、ストライドに差が生じるのかを検討する必要がある。しかし、100m レースを分析対象として、スタートから最大走速度に到るまでの 1 歩毎のピッチおよびストライドを検討し、スプリントパフォーマンスが異なるスプリンターの特徴を明らかにした研究は金高ほか（2005）のみである。また、金高ほか（2005）は加速局面を区別することが研究目的となっており、スプリントパフォーマンスの差に着目したものではない。したがって、スプリントパフォーマンスの差を生み出す要因を明らかにすることを目的として、100m レースにおける加速局面の 1 歩毎のピッチとストライドを検討した研究は行われていない（問題点 1）。

(4) スプリントパフォーマンスと下肢の筋力・パワー発揮能力の関係

100m 走において走速度をより高めるためには、合理的な走動作に加えて高い筋出力が求められるため（生田ほか，1980；持田ほか，1999；Smirniotou et al., 2008），体力的要因として下肢の筋力およびパワー発揮能力に着目した研究が数多く行われてきた。本節では，実践現場で比較的測定が容易にでき，多関節運動による下肢の筋力・パワー発揮能力を測定できるスクワット姿勢による下肢の最大筋力，ジャンプ運動による爆発的なパワー発揮能力，自転車エルゴメーターによる下肢の持続的なパワー発揮能力を測定した研究に焦点を当て，下肢の筋力・パワー発揮能力がスプリントパフォーマンスに及ぼす影響を概観する。

下肢の最大筋力を測定するため，バックスクワットによる最大挙上重量の計測や，スクワット姿勢による等尺性最大筋力の計測が行われてきた（Bret et al., 2002；Jeffrey et al., 2009；Young et al., 1995）。バックスクワットによる下肢の最大伸展筋力と，スプリントパフォーマンスの間に有意な相関関係が認められたこと（Bret et al., 2002；Jeffrey et al., 2009），膝関節 120 度のスクワット姿勢による等尺性最大筋力と最大速度時の 10m 区間タイムの間に有意な相関関係が認められたこと（Young et al., 1995）が報告されている。

ジャンプ運動を用いた爆発的なパワー発揮能力の測定では，SJ，CMJ，ドロップジャンプ（DJ），RJ，SLJ，SFJ の遂行能力が計測され，スプリントパフォーマンスとの間に有意な相関関係が認められたことが報告されている（Bret et al., 2002；岩竹ほか，2002；Kale et al., 2009；Kukolj et al., 1999；Maulder and Cronin, 2005；Maulder et al., 2006；Mero et al., 1981；Mero et al., 1983；Nagahara et al., 2014 c；Smirniotou et al., 2008）。走局面別のスプリントパ

パフォーマンスとジャンプ能力との関係性を検討した研究 (Bret et al., 2002 ; 岩竹ほか, 2002 ; Nagahara et al., 2014 c ; Smirniotou et al., 2008) では, SJ と CMJ の跳躍高は加速局面の走速度と関係性が高いこと (Bret et al., 2002 ; Nahagara et al., 2014 c), RJ におけるパワーと走速度の関係性は, スタートから走速度増加に伴って高くなること (岩竹ほか, 2002), SJ と CMJ の跳躍高は, 100m 走の減速局面よりも 30m 付近までの加速局面との関係性が高く, DJ の跳躍高は 0 – 10m 区間の走速度と有意な関係性があること, DJ-index は 30 – 60m および 60 – 100m 区間の走速度との関係性が高いこと (Smirniotou et al., 2008) が報告されている.

10 秒または 30 秒程度の持続的なパワー発揮能力については, 自転車エルゴメーターを用いた研究が行われてきた. これらの研究では, 10 秒以内の全力ペダリング運動と, 30 秒以上の全力ペダリング運動が実施されている. 生田ほか (1980) は, 3 – 10kp の負荷による 6 秒間の全力ペダリング運動をスプリンターに行わせた結果, スプリンターは一般学生に比べて重い負荷でのパワー発揮に優れること, またスプリンターの中には, 軽い負荷でのパワー発揮に優れる者と, 重い負荷でのパワー発揮に優れる者が認められることを報告している. 杉田・小林 (2004) は, 1kp と 3 つの異なる負荷による 10 秒間の全力ペダリング運動を学生陸上競技選手に行わせた結果, 1kp での最高回転数と 100m 走タイムの相関係数が最も高く, 100m 走中の最高ピッチとも有意な相関関係が認められたことを示している. 体重の 7.5% 負荷で 30 秒間全力ペダリング運動を実施する Wingate test とスプリントパフォーマンスの関係を検討した研究では, Wingate test での体重あたりの最大パワー (PP) および平均パワー (MP) と, 加速局面の平均走速度との間に関係性は認められず,

最大走速度との間に有意な相関関係が認められている（尾縣ほか，2008）．

以上のことから，100m 走の加速局面では下肢三関節における短縮性の伸展筋力・パワー発揮能力が，最大速度局面から減速局面では，支持時間が短い中でのパワー発揮能力と，下肢を高頻度で回転させ続ける持続的なパワー発揮能力が，スプリントパフォーマンスを高めるために重要な体力的要因であると考えられる．

2. スプリントパフォーマンスの縦断的变化過程に関する研究

ここまで概観してきた横断的研究によって示された知見は，パフォーマンスレベルの違いによる特徴を示したものである．横断的研究に加えて，ある一定期間でのスプリントパフォーマンスの縦断的变化過程を検討することによって，スプリントパフォーマンスの向上に関係する要因を明らかにすることができる．

稲葉ほか（2002）は，女性スプリンター1 名を対象に，短距離走の科学的知見をもとにしたトレーニングの実施が，19 歳から 24 歳の 6 年間のスプリントパフォーマンス，走動作，等速性筋力，大腿部横断面積に及ぼす影響を事例的に検討している．その結果，科学的知見をトレーニングに取り入れた時期に，競技力が飛躍的に向上し，トレーニングの目的としていた走動作，筋力，筋形態の変化が認められたことを報告している．具体的には，最大速度局面の走動作に関して接地中の膝関節および足関節を固定し，脚全体のスイング速度が高まる走動作への改善がみられ，大腿部後面の筋量の増大と膝関節屈曲筋力の増加が認められている．

中田ほか（2003）は，8 名の学生スプリンターを対象に，バイオメカニクスデータを走

動作改善のトレーニングに活用した際の、最大速度局面の走動作に関する約1年半の縦断的变化を検討している。その結果、走速度はトレーニング期間で増減を繰り返しながら向上し、ピッチとストライドの変化は競技者によって異なっていたこと、回復期の動作は修正が比較的行いやすく、回復期前半で股関節屈曲筋群のトルクを大きくすることによって仕事を大きくし、回復脚の引き出し速度を高めることが走速度の増加に重要であることを指摘している。

新井ほか(2004)は、国内一流女性スプリンター2名を対象に、準備期から試合期のトレーニング経過に伴う、形態・体力的要因、スプリント動作の縦断的变化を事例的に検討している。その結果、走速度は準備期後に低下し、試合期で向上すること、試合期での高強度の走運動が大腰筋の筋肥大を招く可能性があること、支持脚の膝関節と足関節の屈曲・伸展動作を抑えることで支持脚全体のスイング速度が高まる走動作への変化が、走速度の増加に影響することを報告している。

黒澤ほか(2005)は、100m走を専門とする女子スプリンター1名を対象に、大学4年間にわたる最大速度局面の回復脚に関する走動作の縦断的变化を事例的に検討している。その結果、大学1年次から4年次にかけて、ストライドは減少したがピッチが大きく増加することで走速度が向上したこと、「回復期前半において大転子から前方に脚を動かすこと」、「回復期前半において脚の引き出しを早くすること」を意識した結果、回復脚の引き出し動作が早くなり、ピッチの増加をもたらした可能性を示している。

以上の研究は、バイオメカニクスの観点から走動作を改善することに着目した縦断的研究であるが、100m走パフォーマンスの向上過程に着目した実践的な研究もいくつか行わ

れている.

秋田・金高（2000）は，スプリンター1 名を対象に，加速局面に着目したトレーニングを実践することで，最大走速度を向上させることを目的としたトレーニングに関する実践的報告を行っている．その結果，最大走速度の向上にはスタートから 20m までの走速度の増加が必要不可欠であり，特に 7m 地点以降の走速度の増加と，この区間でストライドを低下させることなくピッチを増加させることが，最大走速度の向上に重要であることを報告している．

土江（2009）は，日本代表経験を有する男性スプリンター1 名を対象に，100m 走中の加速局面，最大速度局面，減速局面のピッチ変化が，記録の向上に及ぼす影響を事例的に検討している．その結果，100m 走の記録は 100m 全体のピッチの増加によって向上し，ピッチの増加に影響した要因の言及はしていないものの，特にスタート後 11 歩目以降の局面におけるピッチの増加が重要であることを報告している．

以上の先行研究から，スプリント能力の縦断的变化過程に関する研究は，最大速度局面を対象にしたものがほとんどであり，加速局面の走動作の検討は行われていない．さらに被験者数が 1～2 名による事例的検討が多いため，スプリント能力の向上を可能にした要因の共通した変化が明らかにされていない（問題点 2）．

3. 走速度とピッチおよびストライドの関係，ピッチおよびストライドに影響する要因

走速度はピッチとストライドの積によって決定される．ピッチとストライドには，ピッチが高ければストライドが小さく，ストライドが大きければピッチが低いという相互関係

が存在するため (Hunter et al., 2004), 走速度とピッチおよびストライドに関する研究が行われてきた。本節では, 走速度の増加に伴うピッチおよびストライドの変化, ピッチおよびストライドに影響する形態的, 体力的, 技術的要因の検討に焦点を当てる。

(1)ランニングからスプリントへの走速度増加に伴うピッチ・ストライドの変化

阿江ほか (1986) は, 低速 (2.68 ± 0.42 m/s), 中低速 (3.89 ± 0.20 m/s), 中速 (6.52 ± 0.53 m/s), 中高速 (7.86 ± 0.52 m/s), 全速 (9.59 ± 0.38 m/s) の 5 段階の走速度における, ピッチとストライドの変化, 下肢関節筋群のパワーと仕事の変化を検討している。その結果, 中高速まではストライドの増加が大きく, 中高速から全速ではストライドが減少しピッチが顕著に増加することを報告している。そして, 足関節底屈筋群が支持期ではストライドの増加に, 回復期後半の接地に先立つ局面ではピッチの増加に貢献すること, 大腿部が伸展から屈曲へ, 屈曲から伸展へ切り換わる局面の大腿部の切り換え動作を促進することがピッチの増加に貢献することを報告している。

Hay (2002) は, 歩行, ランニング, ボート競技 (カヌーやカヤック), 自転車競技, 競泳 (背泳ぎ, 平泳ぎ, バタフライ) における移動速度の増加に伴うピッチとストライドの変化を検討し, いずれの運動であっても中程度の速度まではストライドの増加によって, 中程度の速度から高速度までは, ストライドがわずかに減少し, ピッチが増加することを報告している。

Yanai and Hay (2004) は, 阿江ほか (1986), Hay (2002) が指摘するような全速近くでの急激なピッチの増加と, ストライドの減少に影響する力学的要因を検討している。その

結果、低速域の走速度増加にはストライドの増加が、高速域での走速度増加にはピッチの増加が主に貢献することを報告している。そして、高速域でのストライドの低下に伴うピッチの増加には、**Anatomical constraint**（解剖学的制約）と **Temporal constraint**（時間的制約）が影響していることを明らかにしている。ここでの解剖学的制約とは、支持期における股関節の可動域を、時間的制約とは支持時間を示しており、7.5m/s 以上の高速域では、支持時間が短くなることに加え、支持脚の股関節が最大伸展できる関節可動域が解剖学的に制限されることで、ストライドが低下し、ピッチが増加することを指摘している。

Dorn et al. (2012) は、低速域から高速域 (3.5m/s～8.0m/s 以上) への走速度、ピッチおよびストライドの変化に対する下肢筋群の働きの影響を、筋骨格モデルを用いて検討している。その結果、7m/s までの走速度の増加には、足関節底屈筋群の腓腹筋とヒラメ筋が支持期の鉛直力に貢献することでストライドが増加すること、7m/s 以上の走速度増加には股関節の屈曲および伸展筋群である腸腰筋、大殿筋、ハムストリングスが回復脚の前方および後方への加速に貢献することでピッチが増加することを報告している。

以上の先行研究から、ランニングから全力に近いスプリントへと段階的に走速度を増加させていった場合、走速度によってピッチおよびストライドの貢献度が異なり、走速度の増加に対してピッチ、ストライドの変化が密接に関係していることが分かる。しかし、トレッドミルとった実験的条件下において、ランニングから段階的に走速度を増加させることで、走速度、ピッチ、ストライドの関係性を検討した研究の知見は、スプリンターの走速度を向上させていくための知見というより、ヒトの走運動における一般的特徴を明らかにしたものであると考えられる。100m 走における走速度の向上を考える上では、最大努

力にて疾走している際のピッチ、ストライドが、どのような要因によって影響を受けるのかを明らかにし、ピッチおよびストライドをいかにして増加させればよいのかを明らかにする必要がある。

(2) スプリントにおけるピッチ・ストライドの大きさに影響する要因

Hay (1993) はストライドとピッチの構成要素を力学的に説明している。ストライドは、接地時のつま先と重心の水平距離である接地距離と、離地時のつま先と重心の水平距離である離地距離を合わせた支持距離、そして空中で重心が水平移動する距離を示す滞空距離によって構成される。最大速度付近では、支持距離が約 43%、滞空距離が約 57%の割合を占める。支持距離は支持脚の伸展動作や、接地時の脚角度の影響を受け、滞空距離は離地時の重心の速度・角度・高さ、空気抵抗によって決定される。特に滞空距離は離地時の重心速度の影響が大きく、この重心速度は地面反力の大きさによって決まるため、支持期中における股関節、膝関節、足関節の伸展によって発揮される力の大きさが重要であると指摘している。一方、ピッチは支持時間と滞空時間で構成される。世界トップスプリンターの最大速度付近における両者の割合は、支持時間が 40–45%、滞空時間が 60%程度を占める。支持時間は、支持脚の筋が身体を前方に移動させることができる速度の影響を受け、滞空時間は離地時の身体重心の速度・高さ、空気抵抗の影響を受けると指摘している。

Hoffmann (1971) は、ナショナルレベルのスプリンターにおけるピッチおよびストライドと、身長および下肢長との関係を検討している。その結果、50–60m 区間のストライドは 2.50m が限界であること、身長および下肢長とストライドの間には正の相関関係が、ピ

ッチとの間には負の相関関係が認められたことを報告している。

Mero and Komi(1986)は、約5m/sのランニングから約10m/sのスプリント(Maximal Run), さらに牽引装置による超最大スプリント(Super Maximal Run, 約11m/s)まで走速度を増加させた時のピッチ、ストライド、地面反力、筋活動の変化を調べ、それらの関係性を検討している。その結果、スプリントから超最大スプリントへの走速度増加が大きいスプリンターほど、ピッチが増加していたこと、ピッチの増加が大きい被検者ほど支持期前半における大腿直筋と腓腹筋の筋活動が増加していたことを報告している。またスプリント時のストライドと支持期における地面反力の合成力との間には正の相関関係が認められたことを示している。

Mero et al. (1981)は、助走付きの加速走で得られた最大走速度、ピッチ、ストライド、筋線維組成、ジャンプなどで測定された筋力との関係性を検討している。その結果、走速度が高いスプリンターほどピッチが高く、ピッチが高いスプリンターほど、速筋線維の比率が高いことを報告しており、ピッチの高さには遺伝的要因が影響している可能性を指摘している。

Hunter et al. (2004)は、スプリントにおけるスタート後16m地点の走速度、ピッチ、ストライド、支持時間、滞空時間、支持距離、滞空距離の関係を調べ、ピッチとストライドの相互関係に影響する要因を検討している。その結果、走速度とストライドの間には正の相関関係が、ピッチとストライドの間には負の相関関係が認められ、ピッチが高ければストライドが小さく、ストライドが大きければピッチが低いという相互関係があることを報告している。そしてピッチと滞空時間には負の相関関係が、ストライドと滞空距離には正

の相関関係が認められたこと、離地時の大きな鉛直速度はストライドを増加させる一方で、ピッチを低下させ、ピッチとストライドの相互関係に影響する主要因であることを報告している。さらに、重回帰分析によって支持時間、滞空時間、支持距離、滞空距離に影響する要因を検討し、身体重心の真下に接地し、身体重心が支持脚の足より大きく前方へ移動する前に離地が行われることで支持時間が短くなることを示している。

土江（2010）は、学生スプリンターを対象に、最大速度時の走速度、ピッチ、ストライド、支持時間、滞空時間の相互関係を検討している。その結果、ストライドは支持時間との関係性が認められなかったが、滞空時間との間に正の相関関係が示されたこと、ピッチは支持時間、滞空時間と負の相関関係にあることを報告している。この結果から、滞空時間を延長してストライドが向上すると同時に、それによるピッチの低下を支持時間の短縮によって抑えることが走速度の増加に繋がることを指摘している。

ここまでの先行研究をまとめると、ピッチの高さには支持時間と滞空時間の短縮が、ストライドの大きさには滞空時間と滞空距離の延長が影響する。そしてストライドの大きさには身長および下肢長、支持期中に発揮される合成力の大きさが影響し、ピッチの高さには身長および下肢長、中枢神経系の活動、筋線維組成にみられる遺伝的要因が影響すると考えられる。しかし、これまでの先行研究では、スプリントパフォーマンスが異なる被検者を分析対象としているため、ストライドとピッチに対する走速度の影響を排除できおらず、スプリントパフォーマンスが高い被検者の特徴を示している可能性がある。この問題を解決するためには、スプリントパフォーマンスに差がない等質集団を分析対象にする必要があると考えられるが、等質集団を対象とした研究は Hunter et al., (2004) のみであり、

形態的特徴，下肢の筋力・パワー発揮能力，各走局面の走動作を検討した研究は行われていない。

4. スプリンターの形態およびピッチ・ストライドの特性に応じたスプリントパフォーマンスの特徴

スプリントパフォーマンスを高めるための科学的知見を得るために，これまでの短距離走における研究では，パフォーマンスが大きく異なるスプリンターのピッチ，ストライド，走動作の平均値を比較することで，スプリントパフォーマンスが高い競技者の特徴を示してきた。しかし，実際の指導現場では，さまざまに異なる身体的，体力的特性を有した競技者を指導対象とするため，指導者は各競技者の特性に応じた指導を模索していく必要がある。短距離走の研究においては，スプリンターの特性に着目した研究がいくつか行われている。特に身長や下肢長といった形態的特性，ピッチ・ストライドからみたステップに関する特性について関心をもたれる場合が多い。

宮丸（1971）は，女性スプリンターを対象として，下肢長の違いによる最大速度局面の走動作の相違点を検討している。その結果，下肢長そのものの大小が走速度に及ぼす影響はないことを指摘している。しかし，比下肢長（下肢長 / 身長）が大きい者ほどストライドが大きく，逆に比下肢長が小さい者ほどピッチが高いこと，比下肢長が小さい者の中には，滞空比（滞空時間 / 支持時間）が 1 に近い走法をするタイプと，滞空時間が支持時間より長い走法をするタイプが存在することを示している。走動作に関しては，比下肢長が大きい者はより高く大腿部を引き上げていること，滞空比が 1 に近い走法のタイプは脚を

回復する局面が短く、回復期前半で下腿部を素早く引き戻し、その後前方へ振りおろすことで振動数が高い、素早い切り替え動作による走法を示すことを報告し、下肢長の違いによって走動作が異なるため、下肢長の短い者が長い者と同じ走動作にはならないことを指摘している。

横井（1988）は、学生スプリンターを長身者（1.75m 以上）と短身者に分け、身長の違いによる最大速度局面の走動作の特徴と、力学的エネルギー利用の有効性が高い（走速度を維持できる）走動作の特徴を検討している。その結果、長身スプリンターの動きの特徴は、ストライドが大きく、大腿部の動作範囲が小さく、回復脚膝関節の屈曲速度が大きいこと、大腿部の回復のタイミングが早いこと、身体重心が高く、接地時の支持脚の膝関節がより伸展位であることを示している。一方、短身スプリンターの特徴は、大腿部の動作範囲が大きく、回復脚の膝関節屈曲速度が遅いこと、接地時の支持脚の膝関節がより屈曲し身体重心が低いこと、支持脚の大腿部の動作範囲と速度が大きいこと、離地時に重心をより前方に押し出し、回復期前半の動作範囲が大きいことが示されている。また、シミュレーションによって力学的エネルギー利用の有効性が高い動きを検討した結果、長身スプリンターがストライドを低下させずにピッチを高めるには、体幹部をやや起こし、支持脚の下腿部を大きく速く回転させることで身体を前方へ送ること、支持期前半では支持脚の膝関節屈曲トルクを、支持期後半では股関節屈曲トルクを大きくする動きが重要であることを報告している。しかし、横井（1988）のシミュレーションによって示された動きは、技能効率が高い動き、すなわち走速度を維持する際に全身の関節筋群の仕事が小さい走動作であり、加速局面のように走速度の大きな増加が要求される走局面に対する知見ではな

い.

永原・図子（2014）は、スタートから最大走速度に到るまでの1歩毎の走速度および加速度と、身体部分長との関係性を調べ、効果的な加速に有利となる形態的特性を検討している。その結果、身長、下肢長、大腿長、下腿長といった下肢の長短は、スプリントパフォーマンスの優劣には影響を与えないが、足趾や前足部が長い形態的特性は、加速局面中盤（7歩目～16歩目付近まで）での高いスプリントパフォーマンスの獲得に有利であることを報告している。

ここまで示した先行研究から、身長や下肢長といった形態的特性は走速度の優劣には影響しないが、ピッチやストライドの大きさに影響することが分かる。したがって、身長や下肢長の異なるスプリンター間ではピッチとストライドからみたステップに関する特性が異なることが推察され、ピッチとストライドに着目してスプリンターをタイプ分けした研究がいくつか行われてきた。

阿江ほか（1994）は、世界選手権 100m 走に出場したトップスプリンターのピッチとストライドを検討し、トップスプリンターはストライド型、ピッチ型に大別でき、個々の特性を活かしたスプリントスタイルを有していることを報告している。

海外の先行研究においても、ピッチとストライドの比率はスプリンターによって異なり、最大走速度は個々のピッチとストライドの最適な比率の結果として生じる（Kunz and Kaufmann, 1981 ; Schiffer, 2009）ことが指摘されている。Donati（1995）は、60m または 100m 走に要する歩数を、中距離走選手に意図的に変化させた時の 60m 走タイムを検討し、最もゴールタイムがよい最適な歩数が選手によって異なることを報告している。これらス

プリンター個々の最適なピッチとストライドの比率は、筋力・パワー発揮の能力、中枢神経系の活動、身長および下肢長によって自動的に決定されると指摘されている (Coh et al., 2001 ; Schiffer, 2009) .

以上の先行研究の指摘から、スプリンターによって身長および下肢長が異なることで、より高い走速度を獲得するためのピッチとストライドの比率が異なると考えられる。すなわち、ピッチとストライドの特性から、ピッチ型、ストライド型として分類されるステップタイプに着目し、各ステップタイプの形態、体力、技術的特徴を明らかにすることが、スプリンターの個別性に応じた指導を実践するための有益な知見になると考えられる。

宮下ほか (1986) は、世界トップスプリンターの 100m 走中の中間疾走フォームを検討し、ピッチ型とストライド型の走動作の特徴を報告している。ストライド型のスプリンターは回復期にて大腿部が前方へ高く上げられ、また下腿部の動作範囲が大きく、回復期の膝関節を深く屈曲することで脚の前方への引き出しを容易にする動きを示すこと、ピッチ型のスプリンターは、大腿部の動作範囲が支持期および回復期ともに小さく、回復期にて下腿部を素早く前方へ運ぶことを強調した動きを示すことを報告している。

中田ほか (2003) は、100m 走中の走動作の縦断的变化を検討した結果、ピッチとストライドの変化はスプリンターによって多様な変化パターンを示し、熟練したスプリンターでは個々の特性が強く反映されるため、走速度の構成要素であるピッチとストライドが、同様の傾向で変化あるいは向上することが少ないことを報告している。

Salo et al. (2011) は、国際レベルの 100m 走のレース映像から 100m に要した歩数を数え、各スプリンターの複数レースにおける 100m 走全体のピッチ、ストライドを検証し、100m

走タイムに対するピッチとストライドの依存性を検討している。その結果、ピッチが高い時ほど 100m 走タイムがよい者、ストライドが大きい時ほど 100m 走タイムがよい者、ピッチとストライドのどちらも 100m 走タイムと関係性がない者が存在することを明らかにし、世界一流スプリンターでは 100m 走パフォーマンスに対するピッチとストライドの依存性が個々に異なることを報告している。

以上の先行研究より、短距離走を専門種目として複数年にわたって競技を行ってきたスプリンターにおいては、スプリントパフォーマンスに対するピッチとストライドの貢献が個々によって異なり、またピッチ型かストライド型であるのかによって走動作の特徴が異なることが分かる。しかし、これまでの研究では、ピッチ型とストライド型の走動作の特徴に関しては、最大速度局面のみしか検討されておらず、加速局面の走動作は検討されていない（問題点 3）。さらに、ピッチ型とストライド型によって、下肢の筋力、パワー発揮能力、形態的特徴が異なるのか、より高い走速度を獲得するための走動作がピッチ型またはストライド型によって異なるのかといった検討が行われていないため、スプリンターの特性に応じた指導のための知見は未だに不十分である（問題点 4）。さらに、ピッチ型、ストライド型のスプリンターにおける 100m レース中の歩数、区間毎のピッチやストライドの値が、どの程度を示すのかといった基準値になるデータも示されていない（問題点 5）。したがって、ピッチとストライドの関係からみた個人特性を考慮することが重要視されながらも、異なるタイプのスプリンターにおける走動作の特徴や、スプリントパフォーマンスを高めるための指導上の着眼点は示されていない。

Ⅲ．本研究の目的，課題，意義，仮説および限界

1. 研究の目的

Ⅱ章の文献研究より，ステップタイプに応じた加速局面のスプリントパフォーマンスに関して，以下の問題点が指摘された．

- 1) スプリントパフォーマンスの差を生み出す要因を明らかにすることを目的として，100m レースにおける加速局面の 1 歩毎のピッチとストライドを検討した研究が行われていない（問題点 1）．
- 2) スプリントパフォーマンスの縦断的変化過程について，加速局面の走動作を検討した研究が行われていない．また被検者が 1～2 名による事例的研究が多く，複数の被検者を対象として，スプリントパフォーマンスの変化に影響する共通した要因が明らかにされていない（問題点 2）．
- 3) 異なるステップタイプのスプリンター間の加速局面における走動作の相違点が検討されていない．またステップタイプの違いを生み出す要因について，形態，体力，技術的要因を総合的に検証した研究は見当たらない（問題点 3，4）．
- 4) 異なるステップタイプのスプリンターにおける，100m レース中の歩数，区間毎のピッチやストライドの値について，各ステップタイプを判断する際の参考となる基準値が示されていない（問題点 5）．

本研究では、上記の問題点を解決するために、日本人学生スプリンターにおけるピッチとストライドの特性（ステップタイプ）のタイプ分類とそれに影響する要因を明らかにすること、そして 100m 走パフォーマンス向上のための加速局面における走技術をステップタイプ別に明らかにすることで、ステップタイプに応じた 100m 走の加速局面に対する指導の着眼点を示すことを目的とした。

2. 研究の課題

本研究では上述した目的を達成するために、以下の 3 つの研究課題を設定した。

【 研究課題 1 】

ステップタイプに応じた最大走速度が高いスプリンターにおける加速局面のピッチとストライド動態を明らかにする。（問題点 1, 5）

1-1. ステップタイプの違いによるピッチとストライドの動態の相違点を検討する。

1-2. ステップタイプを考慮した最大走速度が高いスプリンターのピッチとストライドの動態の特徴を検討する。

【 研究課題 2 】

ステップタイプの違いに影響する形態・体力・技術的要因を明らかにする。

（問題点 3, 4）

2-1. ステップタイプの違いによる体力・形態的要因の相違点を検討する。

2-2. ステップタイプの違いによる加速および最大速度局面の走動作の相違点を検討する。

【 研究課題 3 】

加速局面におけるスプリントパフォーマンスの縦断的变化を明らかにする．（問題点 2）

3. 研究の意義

本研究の目的を達成することは、以下の意義があると考えられる．

スプリンター間のパフォーマンスレベルが近い等質集団の場合、ピッチ型、ストライド型に大別されることが分かっている．したがって、ほぼ同程度のスプリントパフォーマンスであっても、加速局面におけるピッチ、ストライドの動態や、走動作が異なることが推察される．スポーツにおける動作は、運動課題を達成するために不可欠な共通性を有した動作と、様々な個人的特性に基因する個別性を有した動作が合算したものである（阿江・小林, 2011）．多くの熟練者から得られたデータが共通性を有した動作であると解釈すれば、本研究で試みるステップタイプ別のスプリンターから得られるデータは、個別性を有した動作の特徴を明らかにすることに繋がる．ピッチとストライドの関係性からみた異なる特性を有するスプリンターの特徴を明らかにすることは、パフォーマンスを高めるために改善を要する項目と、個別的特性が影響する項目を判断する際の知見を提示することに繋がると考えられる．したがって、本研究で得られる知見は、スプリンターの個人特性に応じた短距離走の指導および研究の発展に貢献する資料を提示することができる．

4. 研究の仮説

先に示した研究課題を究明するために、以下の仮説を設定した。

- (1) スプリンターはピッチとストライドの比率から、ピッチ型とストライド型に分類され、ステップタイプの違いによって加速局面における1歩毎のピッチ、ストライドの動態が異なる。さらに、ステップタイプによって最大走速度が高いスプリンターの加速局面におけるピッチとストライドの動態の特徴が異なる（研究課題1）。
- (2) ステップタイプの違いには形態的要因の影響が大きく、加速局面と最大速度局面における走動作の相違点は、回復脚の動きに顕著な違いが認められる（研究課題2）。
- (3) 最大速度局面では高い走速度を維持すること、加速局面ではより高い走速度へ増加させることが目的となるため、加速局面におけるスプリントパフォーマンスの縦断的变化は、最大速度局面における縦断的变化とは異なる走動作の変化が生じる（研究課題3）。

5. 研究の限界

(1) 作業上の仮定

本研究では、バイオメカニクス的手法を用いて動作分析を行った。したがって、分析を行う際には以下の仮定を設けた。

- 1) 被検者の重心および慣性モーメントは阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて推定できる。
- 2) 被検者に作用する外力は重力と地面反力のみで、空気抵抗は無視できる。
- 3) 本研究で扱った被検者は、ほぼ左右対象の走動作を行ったため、二次元動作とみなすこ

とができ, どちらか一方の矢状面上の動作を分析することで全身の動作を知ることができる.

4) 試合および実験における全力疾走は, 全ての被検者が最大努力で遂行したものである.

(2) 一般化・普遍化に関する限界

本研究には, 研究方法および得られた知見の一般化・普遍化に関する限界が存在する.

本研究の分析対象者は, 大学陸上競技部に所属する男性競技者であったため, 本研究の対象者の性, 競技レベルなどの属性の範囲内で一般化が可能である. したがって, 本研究で得られた知見を国際大会に出場するようなトップスプリンター, また女性スプリンターやジュニア期のスプリンターなどにそのまま適用するには限界がある.

(3) 研究方法上の限界

- 1) 本研究におけるスプリントは全天候型の陸上競技場において, スパイクを履いて行っているため, 土や芝生などの他のサーフェイス上での他競技のスプリントに適用することには限界がある.
- 2) 本研究では風速を考慮し, 追い風 2m および向かい風 2m 以内のデータを選定したが, スプリントパフォーマンスに対する風の影響を完全に排除するには限界がある.

IV. スプリンターのステップタイプに応じた 100m レース中の加速局面におけるピッチとストライドの動態（研究課題 1）

1. 目的

陸上競技の走種目の一つである 100m 走は、主に加速局面、最大速度局面、減速局面の 3 つの局面に分けられ（Delecluse et al. , 1995; Mero et al. , 1992; Schiffer, 2009）、最大速度局面における走速度が、100m 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 100m 走に関する研究では、最大走速度時のピッチ、ストライド、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）、100m 走パフォーマンスが高いスプリンターの特徴が示されてきた。しかし、最大走速度は加速局面を経て到達することから、最大走速度局面のみに着目するだけでは、より高い最大走速度に到達するための知見としては不十分であり、100m 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。より高い最大走速度を獲得するための方法論を明らかにするためには、最大速度と加速の両局面を対象とし、高い最大走速度を獲得できるスプリンター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。これまでにスプリント中の加速局面を対象とした研究は行われているものの、スプリント中の 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 100m 走中の加速局面全体の検討、さらに加速局面と最大速度局面との関係性を考慮して、100m 走パフォーマンスが高いスプリ

ンターの特徴を示した研究は金高ほか（2005）のみであるため、その特徴はほとんど明らかにされていない。

走速度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。走速度は両者の大小によって決定されるため、ピッチとストライドの動態に関する詳細な検討は、より高い走速度を獲得するための知見を提示することに繋がると考えられる。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 100m 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 100m 走を 10m 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 100m 走の加速局面では、走速度、ピッチ、ストライドの変化の割合が大きい。例えば 10 – 20m 区間は、0 – 10m 区間に対し、走速度は約 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 歩毎のピッチとストライドの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、ある一定の走速度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樣ではなく、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、100m スプリンターはピッチ型とストライド型に大別でき、各スプリンターの特性を活かしたスプリントスタイル（ス

テップタイプ)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.

このようなスプリンターのピッチ, 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 100m 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. 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 100m 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, 加速局面のピッチとストライドの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スプリンター間では, 走速度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スプリンターの中で, パフォーマンスの優劣が異なるスプリンター間を比較することで示される相違点を明らかにできれば, スプリンターのピッチ・ストライド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 100m 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, 最大走速度が高いスプリンターの加速局面におけるピッチとストライドの動態の特徴を, ステップタイプ毎に明らかにすることであった.

2. 方法

(1) 被検者

2011年に開催された公認競技会における男子100mレースに出場した59名の男性学生スプリンターを分析対象とした。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者は最も記録がよいレースを分析対象とし、また風速が $\pm 2.0\text{m/s}$ 以内のレースを対象とした。分析対象者の100m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100mレースの記録は 10.83 ± 0.23 秒(風速: $-0.2 \pm 0.9\text{m/s}$)、競技達成率は $98.6 \pm 1.0\%$ 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($\text{SB} / \text{RT} \times 100$)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、100m走の走速度の変化から走局面を区分した研究(羽田ほか, 2003; 森丘ほか, 1997; 持田ほか, 1999; 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30mを加速局面(以下:0-30m区間)、30mから60mを最大速度局面(以下:30-60m区間)、60mから100mを減速局面(以下:60-100m区間)として定義した。30m通過の目安となるラインには、女子100mHの3台目のマークを、60m

通過の目安となるラインには 400mH 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。

30m および 60m 地点の通過タイム、0 – 30m 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、30m、60m、90m 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 60m 地点のカメラにて撮影した。

競技会における 100m 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、この方法はスプリント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ピッチとストライドの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、100m 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 b) 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 – 30m 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 100m スタートラインの後方 2m からゴール方向に向かって 30m 地点まで，較正マークを 2m 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 6m 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 – 30m，30 – 60m，60 – 100m 区間のタイム，歩数，平均ピッチ，平均ストライド，平均走速度を算出した．スタートピストルの閃光を撮影した 60m 地点のパンニングカメラと，30m および 60m 地点に設置された通過タイム算出用カメラは，被検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 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．30m および 60m 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，被検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 – 60m と 60 – 100m 区間のタイムは，

60m 通過タイムから 30m 通過タイムを、100m ゴールタイムから 60m 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走速度とした。また、30 – 60m 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。

$$\text{ストライド指数} = \text{平均ストライド} \cdot \text{身長}^{-1}$$

$$\text{ピッチ指数} = \text{平均ピッチ} \cdot (\text{身長} \cdot g^{-1})^{1/2}$$

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、30m 地点通過直前の全歩数を対象に、スプリント中の 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 歩毎の支持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、スプリント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、30m 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 歩毎の走速度を求めた。

1 歩毎に算出された走速度、ピッチ、ストライド、支持時間、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、以下の式に基づき三点加重移動平均を 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三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、二分の一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 30m を通過する直前の歩数）は、三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。

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

この時の平均ピッチおよび平均ストライドは、最大速度局面として定義した 30–60m 区間の値を用いた。30–60m 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、100m レース中の最大走速度は、40m から 60m の間で出現するスプリンターが多いことから（阿江ほか，1994）、スプリンターの最大走速度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、走速度に対してピッチへの優位性が高く、低い場合は、ストライドへの優位性が高いことを示している。

(4) 統計処理

分析対象となったスプリンターのステップタイプを類型化するために、30–60m 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走速度の異なるスプリンター間の加速局面のピッチとストライドの動態を比較するため、ステップタイプ毎の最大速度局面（30–60m 区間）における区間平均走速度の平均値を基準として、被検者を上位群（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、三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。

3. 結果

(1) ステップタイプの分類と加速局面のピッチとストライドの動態

Fig.4-1 に、100m レース中の 30–60m 区間の平均走速度と、30–60m 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、100m レースタイムと 30 – 60m 区間の平均走速度の相関係数は、他の区間より高い値であった (30 – 60m: $r=-0.974$, $p<0.01$; 0 – 30m: $r=-0.911$, $p<0.01$; 60 – 100m: $r=-0.957$, $p<0.01$). 平均走速度と平均ストライド ($r=0.249$, $p<0.1$), 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. また平均走速度とピッチ・ストライド比の間に、相関関係は認められなかった ($r=-0.024$, Fig.4-1-c).

Fig.4-2 に、クラスター分析による類型化の結果を示した. 100m レースタイムと平均走速度の相関係数が、最も高い 30 – 60m 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 – 60m 区間のピッチ・ストライド比を比較した結果、TypeC, 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 (SF-type), Type A はストライドの優位性が高いストライド型 (SL-type), Type B はどちらにも優位性を示さない中間型 (Mid-type) のスプリンターであると判断した.

Table 4-1 に、被検者全体およびステップタイプ毎の 30 – 60m 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、100m 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走速度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. 100m レースタイムは、ステップタイプによる差は

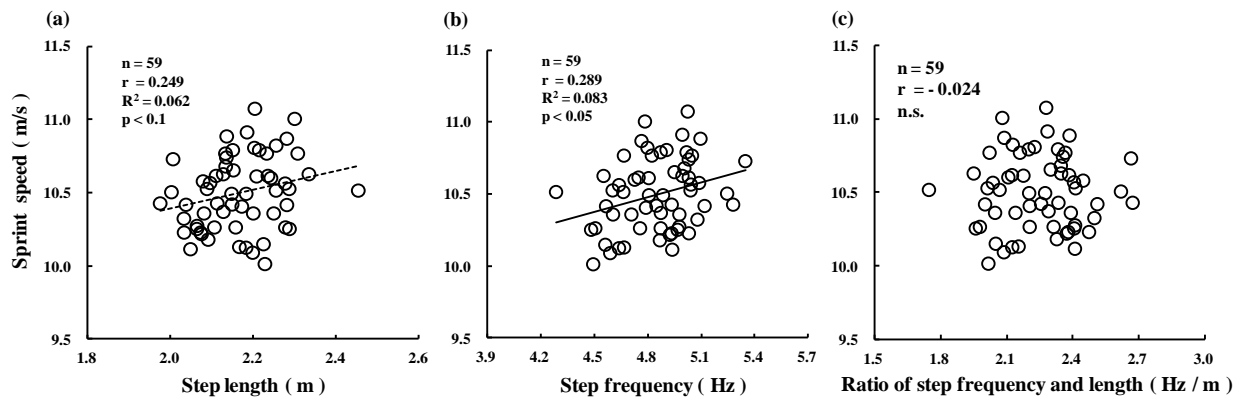


Fig. 4-1 Relationships between average sprint speed and step length (a), step frequency (b), ratio of step frequency and length (c) during 30 – 60m section. [n.s. : not significant]

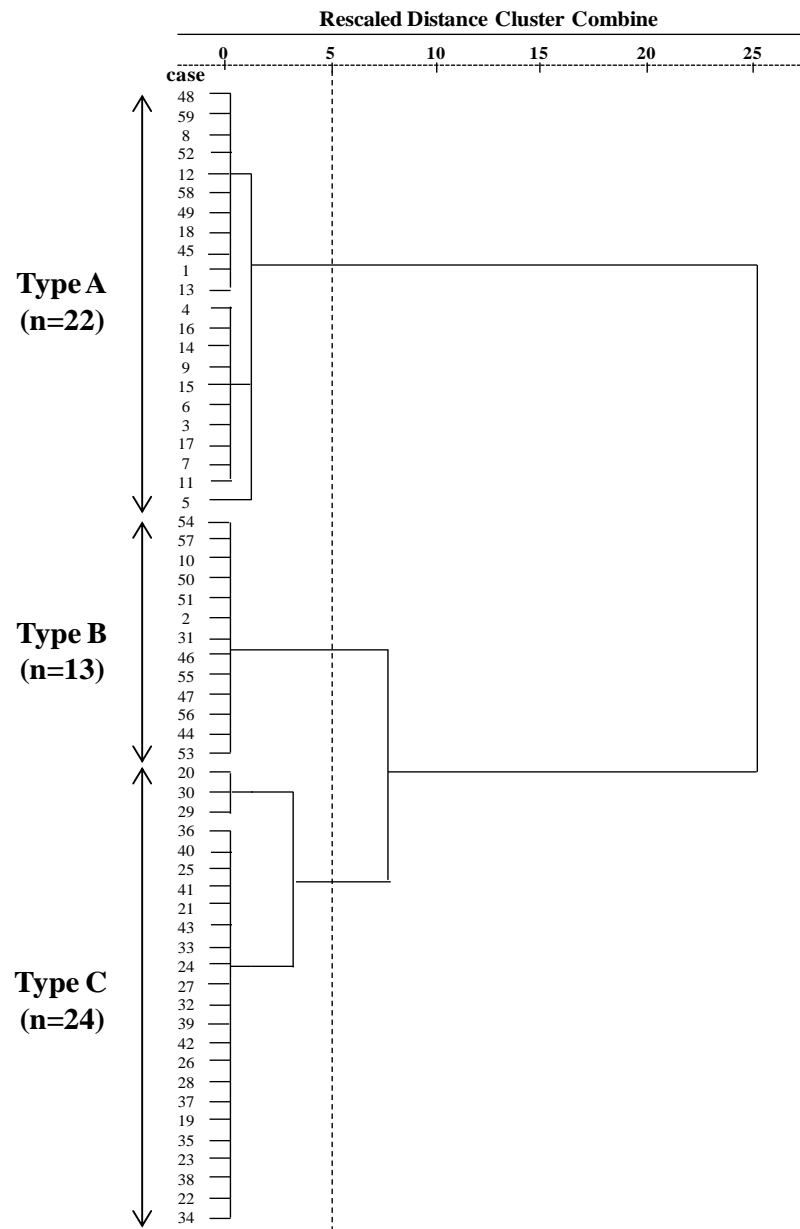


Fig. 4-2 Step-types classification according to cluster analysis.

Table 4-1 Comparison of selected parameters in 100-m race and mean of sprint speed in each pahses 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
30-60m SL (m)	2.17 ± 0.10	2.26 ± 0.06	2.08 ± 0.05	2.17 ± 0.03	*	SL->Mid->SF-type
30-60m 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
100m time (s)	10.83 ± 0.23	10.85 ± 0.28	10.84 ± 0.20	10.77 ± 0.23	n.s.	
All step (step)	49.78 ± 2.13	47.70 ± 1.33	51.69 ± 1.15	49.76 ± 1.06	*	SL->Mid->SF-type
SL index ¹⁾	1.24 ± 0.04	1.27 ± 0.04	1.21 ± 0.03	1.25 ± 0.02	*	SL-, Mid->SF-type
SF index ²⁾	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 – 30m	7.39 ± 0.13	7.37 ± 0.16	7.39 ± 0.11	7.42 ± 0.13	n.s.	
30 – 60m	10.50 ± 0.25	10.47 ± 0.28	10.48 ± 0.22	10.58 ± 0.25	n.s.	
60 – 100m	10.25 ± 0.28	10.25 ± 0.32	10.22 ± 0.25	10.30 ± 0.28	n.s.	

¹⁾ Mean of step length in 30–60m • body height⁻¹

²⁾ Mean of step frequency in 30–60m • (body height • g⁻¹)^{1/2}

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

認められず，区間毎の平均走速度もタイプ間に差は認められなかった。

100m 全体の歩数は，SL-type が 47.70 ± 1.33 歩，Mid-type が 49.76 ± 1.06 歩，SF-type が 51.69 ± 1.15 歩で全てのタイプ間に有意差が認められた。30 – 60m 区間の平均ストライドは，被検者全体が $2.17 \pm 0.10\text{m}$ ，SL-type が $2.26 \pm 0.06\text{m}$ ，SF-type が $2.08 \pm 0.05\text{m}$ ，Mid-type が $2.17 \pm 0.03\text{m}$ 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 $4.85 \pm 0.21\text{Hz}$ ，SL-type が $4.63 \pm 0.13\text{Hz}$ ，SF-type が $5.04 \pm 0.11\text{Hz}$ ，Mid-type が $4.88 \pm 0.08\text{Hz}$ で，タイプ間に有意差が認められた。なお Mid-type の各変数の平均値は，被検者全体の平均値とほぼ一致していた。

Fig.4-3 に，100m レース中の加速局面の 1 歩毎のストライド (Fig.4-3-a)，ピッチ (Fig.4-3-b)，支持時間 (Fig.4-3-c)，滞空時間 (Fig.4-3-d) の動態と，最大速度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，最大速度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，いずれのステップタイプにおいても 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，最大速度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 – 60m 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 歩毎の支持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，支持時間は 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 – 60m 区間で，SL-, Mid-type は SF-type より有意に長かった。

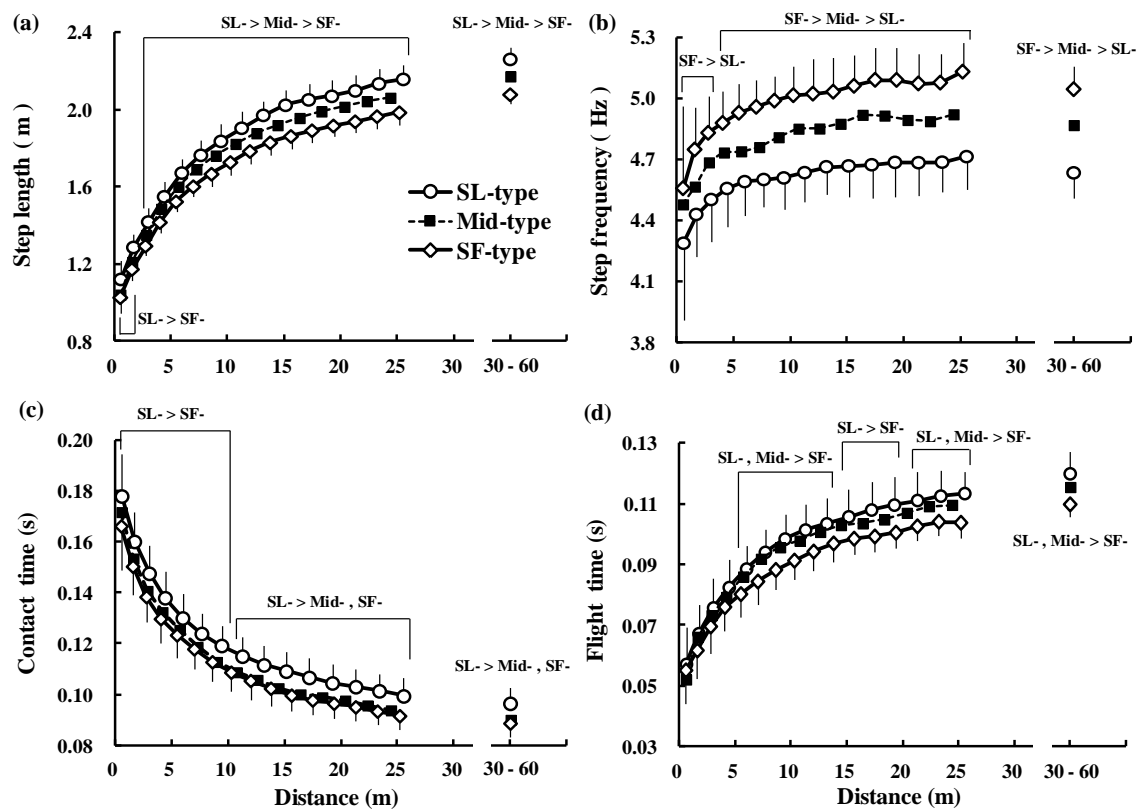


Fig. 4-3 Comparison of changes of step length (a), step frequency (b), contact time (c), and flight time (d) of each step during acceleration pahse among the step-types. [> : $p < 0.05$]

(2) ステップタイプ内における最大走速度が異なるスプリンターのピッチとストライドの
動態

各ステップタイプの 30 – 60m 区間の平均走速度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) の二群に分けた。Table 4-2 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、100m レースタイム、総歩数、および、30 – 60m と 0 – 30m 区間のタイム、平均走速度、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。100m 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 – 60m と 0 – 30m 区間のタイム、平均走速度は、両タイプともに有意差が認められたが、SL-type-Good 群は 30 – 60m 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 – 60m 区間の平均ピッチが有意に高かった。0 – 30m 区間の平均ストライド、平均ピッチに有意差は認められなかった。

Fig.4-4 に、SL-type と SF-type の Good 群と Poor 群の加速局面における、1 歩毎の走速度、ストライド、ピッチの動態と、各変数の 30 – 60m 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 群の走速度が、2 – 15 歩目の歩数において有意に高かった (Fig.4-4-A)。走速度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 –

Table 4-2 Comparison of selected parameters in 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
100m time (s)	10.67±0.16	11.16±0.12 *	10.69±0.10	11.02±0.10 *
All step number (step)	47.14±1.16	48.69±1.02 *	51.49±1.45	51.93±0.62
30 – 60m (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 – 30m (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 , # : p<0.1]

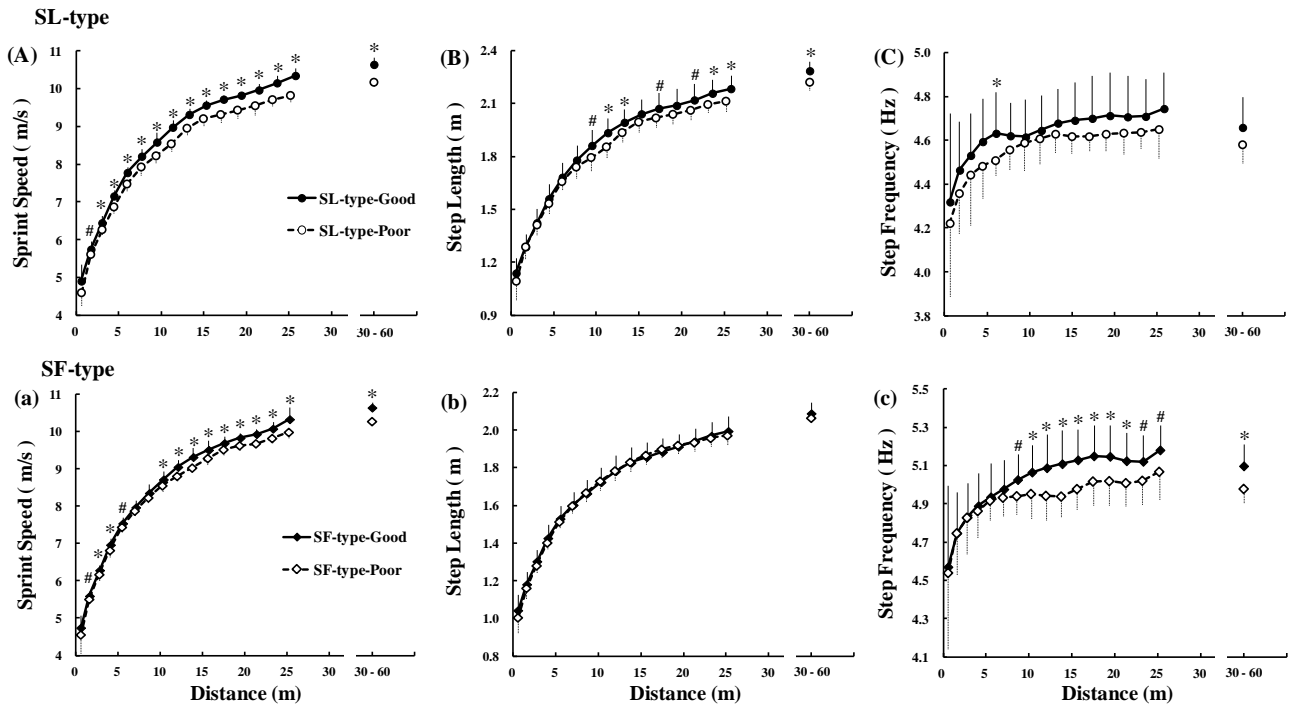


Fig. 4-4 Comparison of changes of sprint speed (A, a), step length (B, b) and step frequency (C, c) of each step during acceleration phase between Good and Poor sub-groups in SL- (above) and SF-type (below). [Good vs Poor in each step-type * : $p < 0.05$, # : $p < 0.1$]

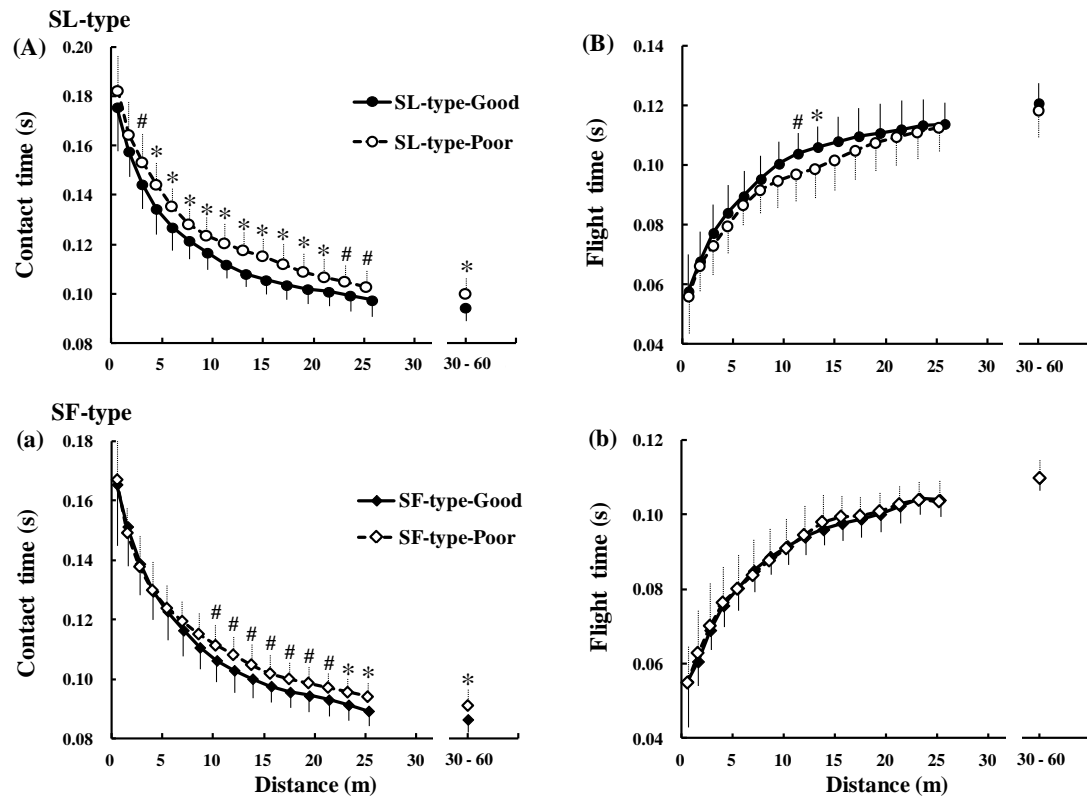


Fig. 4-5 Comparison of changes of contact time (A, a) and flight time (B, b) of each step during acceleration phase between Good and Poor sub-groups in SL- (above) and SF-type (below). [Good vs Poor in each step-type * : $p < 0.05$, #: $p < 0.1$]

15 歩目にかけて高い値を示す傾向にあり (Fig.4-4-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.4-4-C). SF-type では Good 群の走速度が, 2 – 16 歩目において有意に高い値を示した (Fig.4-4-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.4-4-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.4-4-c).

Fig.4-5 に, SL-type と SF-type における Good 群と Poor 群の 1 歩毎の支持時間と滞空時間の動態を示した. SL-type では, Good 群の支持時間が 3 – 15 歩目と 30 – 60m 区間において有意に短かった (Fig.4-5-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.4-5-B). SF-type では, Good 群の支持時間が 8 – 16 歩目にかけて短い値で推移する傾向にあったが (Fig.4-5-a), 滞空時間に有意差は認められなかった (Fig.4-5-b).

4. 考察

本研究の分析対象者である男性学生スプリンター59名の分析対象レースの 100m レースタイムは, 10.83 ± 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 100m 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, 日本の学生スプリンターとして比較的競技水準の高いスプリンターを含む広範囲な競技水準の 100m レースのパフォーマンスを対象としたものである. また各被検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) 100m レースにおけるステップタイプと加速局面のピッチとストライドの動態

最大速度局面として定義した 30 – 60m 区間の走速度、ストライドとピッチの関係性は極めて低く (Fig.4-1), 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・ストライド比と走速度の間に, 相関関係は認められなかったことから, 走速度に対するピッチまたはストライドの優位性は, スプリンターによって大きく異なると考えられた. そこで 30 – 60m 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, 被検者は大きく 3 つのタイプに分類され (Fig.5-2), タイプ間の 30 – 60m 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走速度に有意差が認められなかったことから, 同程度の走速度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スプリンターと, ストライドの優位性が高いスプリンターに分けられることが示された (Table4-1). この結果は, 100m 走スプリンターにおけるピッチとストライドからみたステップ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, スプリンター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ステップ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, 世界一流スプリンターが主な分析対象者であり, 日本人スプリンターは含まれていても 3 名程度 (阿江ほか, 1994) である. またステップタイプ毎の 100m 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

(Table4-1) は、日本人スプリンターのステップタイプを判断する際の参考値の一つになるものと考えられる。

本研究の結果から、30 – 60m 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走速度時のピッチ・ストライド比を算出すると、SL-type に分類されている 3 名は 1.76, 2.04, 1.99、SF-type に分類されている 2 名は 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 58m 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スプリンターに適用されるものであると考えられる。

最大速度局面のピッチ、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.4-3-a, -b)。また支持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.4-3-c,-d)。ピッチは滞空時間と支持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、走速度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、支持時間の違いを生じさせる要因の一つとして下肢長が挙げられる。Hunter et al.

(2004) は、下肢が長い者は、支持距離（接地中に身体重心が移動する距離）と支持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、下肢長に関しても、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 5-1)。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一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、最大速度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、スプリンターでは、最大速度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走速度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、より高い最大走速度に到達するための加速局面のピッチとストライドの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 - 60m 区間の平均走速度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、支持時間、滞空時間)について、30 – 60m 区間では平均値を、0 – 30m 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歩毎の走速度に関しては、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.4-4)。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 (Table4-2) 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.4-4-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 – 60m 区間の平均ストライドも大きかった (Fig.4-4-B)。この結果について、100m レースタイムの主要な決定要因である最大速度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 群の最大速度局面の大きなストライドは (SL-type-Good 群の30 – 60m 区間の平均ストライド： $2.29 \pm 0.06\text{m}$)、加速局面の7歩目以降 (約9m 付近) 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ことが、加速局面で獲得される走速度を高め、そしてより高い最大走速度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。

さらに支持時間と滞空時間については、SL-type-Good 群の支持時間が、3 歩目以降から 30 – 60m 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.4-5-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、支持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 – 60m 区間の平均値にも差は認められなかった (Fig.4-4-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 – 60m 区間の平均ピッチも高かった

(Fig.4-4-c)。この結果について、最大速度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 群の最大速度局面での 5.0Hz 以上の高いピッチには (SF-type-Good 群の 30 – 60m 区間の平均ピッチ: $5.10 \pm 0.12\text{Hz}$)、加速局面の 7 歩目以降 (約 9m 付近) で、

ピッチがより高まること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こ

とが、加速局面で獲得される走速度を高め、そしてより高い最大走速度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 群の間に身長の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。支持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 群の支持時間は、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.4-5-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、支持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、最大走速度の高いスプリンターの加速局面のピッチとストライドの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 9m 付近 (SL-type: $9.45 \pm 0.45\text{m}$, SF-type: $8.62 \pm 0.40\text{m}$)、走速度にして約 8m/s 付近 (SL-type: $8.45 \pm 0.30\text{m/s}$, SF-type: $8.30 \pm 0.20\text{m/s}$) であった (この時の走速度を 30–60m 区間の走速度に対する比率で示すと、SL-type は $80.71 \pm 2.26\%$, SF-type は $79.22 \pm 1.83\%$)。100m 走における加速局面は、スタートから 8 歩目前後 (約 11m)、8 歩目前後から 15 歩目前後 (約 11–25m)、15 歩目前後から最大走速度に到達するまで (約 25–50m) 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、100m 走中の 2m 毎の走速度を検証し、スタートから 10m では高い初期加速を達成する能力、12m から 34m では初期加速に続いて最大走速度へ走速度を増大させる能力、36m 以降では高い走速度を維持する能力の 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、5–6m/s 以上の走速度では、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支持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走速度へと走速度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パフォーマンスが、最大走速度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、より高い最大走速度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走速度に向けて走速度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、最大速度局面のストライド、またはピッチを増大させ、最大走速度を増加させる場合、加速局面の 7 歩目 (約 9m 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、加速局面と最大速度局面の関係性を考慮した、100m レース中の最大走速度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。スプリンター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、もう一つの変数を増加させることで、走速度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、最大速度局面において、ストライドの優位性が高いタイプのスプリンターでは、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スプリンターでは、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、より高い最大走速度へ

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、分析した変数が走速度、ピッチ、ストライド、支持時間、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、最大走速度を高めるための加速局面のスプリント技術を明らかにしていくことが課題である。

5. 要約

本研究の目的は、スプリンター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、ステップタイプ毎に 100m レース中の加速局面における 1 歩毎のピッチ、ストライド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走速度が高いスプリンターの加速局面におけるピッチとストライド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 100m レースに出場した 59 名の男性学生スプリンター（100m 走シーズンベスト記録：10.68±0.22 秒）を対象者とし、100m 走中の 30–60m 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 30–60m 区間の平均走速度の平均値を基準として、上位群（Good）と下位群（Poor）に群分けし、加速局面のピッチとストライドの動態を比較した。主な結果は、以下の通りである。

- 1) クラスタ分析の結果、被検者は 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 100m レースタイム、各区間の平均走速度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。また支持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 – 60m 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 – 60m 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、最大速度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、100m レース中の加速局面におけるピッチとストライドの動態は異なること、そして、高い最大走速度を示すスプリンターの加速局面におけるピッチとストライドの動態の特徴は、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学生スプリンターの 100m 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、スプリンター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。

V. 異なるステップタイプのスプリンターにおける形態と加速および最大速度局面の走動作の特徴（研究課題 2）

1. 目的

IV章の研究課題 1 にて、スプリンターは最大速度局面のピッチとストライドの比率から、ピッチ型（SF-type）、ストライド型（SL-type）、中間型（Mid-type）のステップタイプに分類されることが示され、ステップタイプによって加速局面のピッチとストライドの動態が異なることが明らかにされた。この結果から、日本人学生で 10.3 秒から 11.3 秒の記録範囲のパフォーマンス水準であるスプリンターでは、ステップタイプの異なるスプリンターが混在していること、ステップタイプの違いには身長からみた形態的要因以外にも、走動作からみた機能的要因が影響している可能性が示された。また 10m 地点以降のトランジション局面からのスプリントパフォーマンスが、最大走速度を高めるために重要であることが示され、10 – 20m 付近の加速局面における走動作を検討することの必要性が示唆された。異なるステップタイプのスプリンターにおける体力、形態、そして加速局面および最大速度局面における走動作の特徴を明らかにすることができれば、ステップタイプに応じた指導を実践するための基礎的知見を示すことができると考えられる。

スプリンターにおけるピッチとストライドの間には、ストライドが大きければピッチが低く、ピッチが高ければストライドが小さいという相反関係があり（Hunter et al. , 2004）、より高い最大走速度は、個々によって異なるピッチとストライドの適切な比率の結果として生じることが指摘されている（Donati, 1995 ; Kunz and Kaufmann, 1981 ; Schiffer, 2009）。

ピッチとストライドの大きさに影響する要因を検討している先行研究では、ピッチが高いスプリンターほど、速筋繊維の占める割合が高いこと (Mero et al., 1981), 身長 (下肢長) が低いこと (Hoffmann, 1971), 回復期で下腿部を素早く前方へ振りだすことを強調した動きであること (宮下ほか, 1986), 支持期に発揮される鉛直力が小さく, 離地時の鉛直速度が低いこと (Hunter et al., 2004) が報告されている。一方, ストライドが大きいスプリンターほど, 身長 (下肢長) が高いこと (Hoffmann, 1971), 支持期における地面反力の合成力が大きいこと (Mero and Komi, 1986), 回復脚の膝を深く屈曲し脚を前方へ引き出しやすくし, 大腿部が前方へ高く上げられていること (宮下ほか, 1986), 支持期に発揮される鉛直力が大きく, 離地時の鉛直速度が高いこと (Hunter et al., 2004) が報告されている。また, 下肢の筋力・パワー発揮能力に着目すると, SJ および CMJ の跳躍高, RJ の滞空時間とストライドの間に有意な正の相関関係が認められること, RJ の支持時間とピッチの間に有意な負の相関関係が認められること (岩竹ほか, 2002 ; Kale et al., 2009) が示されており, ピッチには支持時間を短縮させる神経系の要因が, ストライドには下肢の伸展筋力や瞬発力が影響している可能性 (岩竹ほか, 2002) が指摘されている。

しかし, 宮下ほか (1986), Hunter et al. (2004) 以外の研究では, 走速度が異なる異質のスプリンターを被検者として各変数間の関係性を検討している。そのため, ピッチやストライドと関係性が認められた変数には, 走速度の違いが影響している可能性があり, ピッチまたはストライドに関係する要因であると解釈することが難しい。すなわち, 走速度の影響を除去してピッチおよびストライドに影響する要因を検討する必要がある, 宮下ほか (1986) と Hunter et al. (2004) のように, 走速度がほぼ同程度の等質集団を被検者とす

ることが求められる。しかし、宮下ほか（1986）は、世界トップスプリンター8名の最大速度局面における走動作について、事例的にピッチ型またはストライド型として検討することに留まり、平均値からみた一般的な走動作の特徴は明らかにしていない。また Hunter et al.（2004）は、球技系競技を含むアスリートをピッチが高い群とストライドが大きい群に分けて検討しているが、実験試技が25mのスプリントのため、最大走速度に到達するまでのスプリントの分析から、加速局面および最大速度局面の下肢関節や部分のキネマティクスの特徴を明らかにできていない。さらに、形態的特徴や、下肢の筋力・パワー発揮能力を同時に検討した研究も行われていないため、ステップタイプの異なるスプリンターの特徴は明らかにされていない。

そこで本研究の目的は、異なるステップタイプのスプリンターにおける、形態、下肢の筋力やパワー発揮能力、加速および最大速度局面の走動作に関する相違点を明らかにし、ステップタイプの異なるスプリンターの体力、形態、技術的特徴を示すことであった。

2. 方法

(1) 被検者

被検者は、大学陸上競技部で短距離走およびハードル走を専門とする男性学生スプリンター26名を対象にして、以下1)～5)の測定を行った。本研究では、走速度がほぼ同程度の被検者を分析対象として、ピッチおよびストライドが異なる被検者を比較するため、60mスプリントのゴールタイムの平均値および標準偏差 $\pm 1SD$ 以内に含まれた17名の被検者を抽出した。被検者17名の身体的特性およびパフォーマンスレベルは、年齢が 20.94 ± 1.39

歳，身長が $1.75 \pm 0.05\text{m}$ ，体重が $65.62 \pm 7.62\text{kg}$ ，各種測定を行った年の 100m 走シーズン最高記録が 11.06 ± 0.21 秒であった．実験を開始するにあたり，研究目的，研究方法，実験に伴う危険性・安全性，個人情報および研究データの取り扱いについて，十分に説明し実験参加の同意を得た．なお本研究は，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．

(2) データ収集および測定項目

1) スプリントパフォーマンスの評価

スタートブロックを用いたクラウンチングスタートによる 60m スプリントを，筑波大学の全天候型陸上競技上の直線走路にて 2 本行った．測定時の風は微風で，測定に大きな影響を及ぼすような気象条件ではなかったが，いずれの測定も追い風にて疾走できるよう走方向を調節した．

スタートはピストルの合図に合わせて行い，2 本のうち 60m ゴールタイムが良い方を分析に用いた．60m スプリント中の 15m，45m 地点の走速度，ピッチ，ストライド，走動作を分析するため，走路の約 30m 側方，15m，35m，45m 地点にハイスピードカメラ（Casio 社，Ex-F1，撮影スピード：毎秒 300 コマ，露出時間：1/1000 秒）を設置し，計測地点を中心にパンニング撮影した．35m 地点のカメラは，60m 走中の 10m 区間毎の通過タイムを算出するために使用した．10m 区間毎の通過タイムを計測するため，10m 地点毎のポイントと 35m 地点のカメラを結んだ線上にポールを立てた．走動作に関する分析データを実座標に換算するため，スタート地点の後方 1m からゴール地点までのレーン両側ライン上に

1m 間隔で較正マークを設置した。

被検者の胴体とポールが重なったコマ数をカウントすることで、10m 区間毎のタイムを算出し区間平均速度を求めた。1 サイクルにわたる走動作の映像から、身体分析点 (23 点) および較正マーク (4 点) を、150 コマ/秒でデジタイズした。分析の対象脚は右脚とし、左脚接地から、同脚が再び接地する瞬間までの 1 サイクルの分析を行った。なお、座標の読み取りは、平滑化处理や微分処理等を考慮して、分析範囲の前後 5 コマを加えた。デジタイズは、ビデオ動作解析システム (DKH 社製, Frame-DIAS IV) を用いて行った。デジタイズによって得られた身体の 2 次元座標を 4 点の較正マークをもとに実座標に換算した。得られた 2 次元実座標をバターワース型デジタルフィルタを用いて平滑化した。このときの遮断周波数は、Wells and Winter (1980) の方法により分析点の座標成分ごとに決定した。実際に用いた遮断周波数は、X 座標が 4.50~9.00Hz、Y 座標が 3.00~10.50Hz であった。阿江 (1996) の身体部分慣性係数を用いて、部分および全身の重心の座標を算出した。

得られた各被検者の身体各部位の 2 次元座標データから、宮下ほか (1986)、伊藤ほか (1998)、羽田ほか (2003)、Hunter et al. (2004)、矢田ほか (2011) の研究結果を参考に、下記の項目を算出した。

- ①ストライド: 各 10m 区間の距離を各区間に要した歩数で割ったものをストライドとした。
- ②ピッチ: 各 10m 区間に要した歩数を、各区間に要した時間で割ったものをピッチとした。
- ③走速度: 上記の方法で算出されたストライドとピッチの積とした。
- ④支持距離: 支持期における身体重心の水平移動距離とした。
- ⑤接地距離: 接地時における身体重心と支持脚拇指球の水平距離を接地距離とした。

(td-distance : touchdown-distance).

⑥離地距離：離地時における身体重心と支持脚拇指球の水平距離を離地距離とした

(to-distance : takeoff-distance).

⑦滞空距離：滞空期における身体重心の水平移動距離を滞空距離とした.

⑧支持時間：1 サイクルの左右の支持期に要した時間の平均値とした.

⑨滞空時間：1 サイクルの左右の滞空期に要した時間の平均値とした.

⑩離地時における身体重心の鉛直速度 (VV_{to}), 離地時および接地時の身体重心の高さ

($CG_{height-td, -to}$), 離地時の合成重心角度 (θ_{CGto}): 身体重心高は, R-off と L-on2 時を算出し, いずれも身長で除すことで身長あたりの重心高として示した.

⑪身体部分及び関節の角度, 角速度: 身体部分及び関節の角度定義は Fig.5-1 に示した. 部分角度については, 大腿角は大転子と膝関節を, 下腿角は膝関節と足関節を, 足底角は踵と足先を結ぶ線分が, それぞれの上位端から下ろした鉛直線となす角度とした. 部分角度については, 鉛直線を基準に反時計回りを正, 時計回りを負とした. 関節角度については, 体幹部と大腿部のなす角度を股関節角度, 大腿部と下腿部のなす角度を膝関節角度, 拇指球と足関節を結ぶ線分と下腿部がなす角度を足関節角度とした. そして, これらの角度変化を時間微分することで角速度を算出した.

羽田ほか (2003) を参考に, 左足接地 (L-on), 左足離地 (L-off), 右足接地 (R-on), 右足離地 (R-off), 左足接地 (L-on2) をイベントとし, L-on から R-on までを回復期後半 (Late Recovery Phase: LR), R-on から R-off までを支持期 (Support Phase), R-off から L-on2 までを回復期前半 (Early Recovery Phase : ER) とした. ⑪で示した下肢の部分および関節

の角度，角速度の他に，各イベントの関節および部分角度の最大値・最小値なども合わせて算出し，下記 a)，b)の動作項目を抽出した．

a) 支持脚（なお，以下の to は take-off を示している）

- ・離地時の体幹部 ($\theta_{\text{Trunk-to}}$) の角度
- ・膝関節の伸展量 ($\Delta \text{Knee extention}$)，足関節の伸展量 ($\Delta \text{Ankle extention}$)：離地時の各関節角度から支持期における各関節の最小値を減じた値．

b) 回復脚

- ・スイング時間：左足離地から左足が接地するまでの時間とした．
- ・回復期の大腿部，下腿部の動作範囲 ($\Delta \text{Thigh-Recovery}$, $\Delta \text{Shank-Recovery}$)

2) 下肢の最大伸展筋力の評価

下肢の筋力を評価するために，図子・高松（1995）と同様の測定方法を用い，膝関節角度 90 度のスクワット姿勢による最大伸展筋力を測定した．肩にかついだ固定式のシャフトを全力で 5 秒間押し上げさせ，鉛直方向の地面反力を計測した（DKH 社，1 軸ストレインプレート，1000Hz）．収集したデータを 0.1 秒毎に平均し，その最大値を体重で除すことで，体重当たりの最大伸展筋力 ($F_{\text{max}} / \text{BW}$) を求めた．

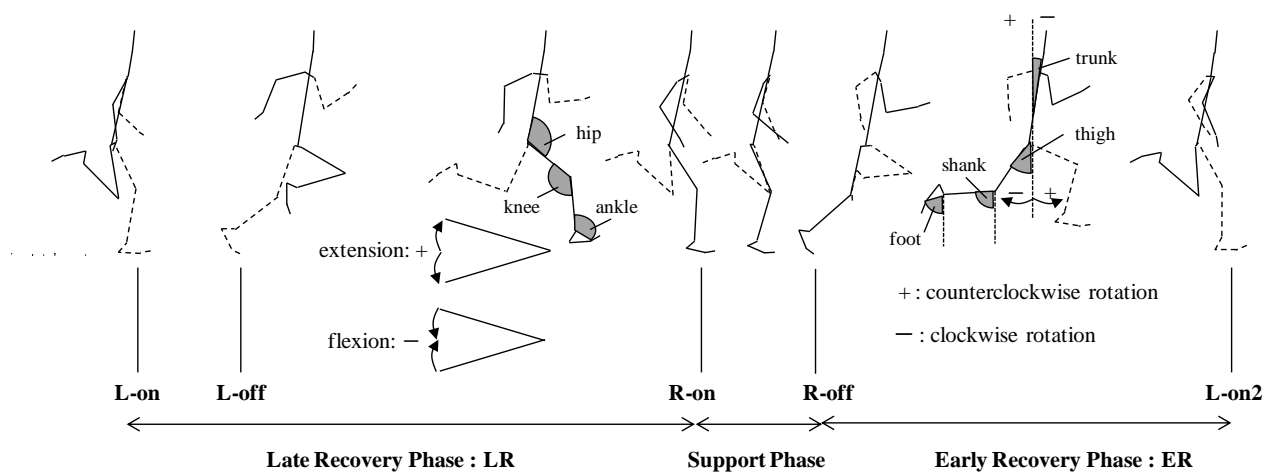


Fig.5-1 Definition of the sprint event, segment, and joint angles.

3) 瞬発的な下肢のパワー発揮能力の評価

スクワットジャンプ (SJ) およびカウンタームーブメントジャンプ (CMJ), リバウンドジャンプ (RJ), 立幅跳 (SLJ), 立五段跳 (SFJ) を測定した. SJ, CMJ, RJ は, いずれの試技も腕の振込動作の影響を排除するため, 手を腰に当てた姿勢で行った. SJ は膝関節を 90 度に屈曲させた姿勢から, CMJ は立位姿勢から反動動作を用いた跳躍動作を行い, RJ は立位姿勢からその場で連続 6 回の跳躍運動を行わせた. いずれの試技も, マットスイッチ (DKH 社, マルチジャンプテスター) を用いて跳躍中の滞空時間を測定し, [跳躍高 $= 1/8 \cdot g \cdot \text{滞空時間}^2$] を用いて跳躍高を算出した. また RJ の接地時間を測定し, [リバウンドジャンプ指数 = 跳躍高 / 接地時間] を用いてリバウンドジャンプ指数 (RJ-index) を算出した (遠藤ほか, 2007 ; 岩竹ほか, 2008). SJ と CMJ は 2 回跳躍のうち跳躍高が高い試技を, RJ は 6 回の連続跳躍のうち, 最も RJ-index が高い跳躍を採用した. 立幅跳, 立五段跳は, スタート離地時のつま先から着地時の踵までの跳躍距離をメジャーにより測定し, 2 回の測定のうち高い値を採用した.

4) 持続的な下肢のパワー発揮能力の評価

電磁ブレーキ式自転車エルゴメーター (コンビウエルネス社, Power Max-VIII) を用いて, 負荷 1kp による 10 秒間の全力ペダリング運動 (杉田・小林, 2004) と, 体重 7.5% 負荷による 30 秒間の Wingate Test (尾縣ほか, 2008) を実施した. 運動中に発揮したパワーを測定するため, エルゴメータから出力されたパワー値を AD コンバーター及び USB 変換ケーブルを介して, 10ms 毎にパーソナルコンピュータに入力した. 得られたデータを 1

秒毎に平均し、10 秒間全力ペダリング運動では最高パワー（PP）と最高パワーに到達した時間を、Wingate Test では最高パワー（WPP）、平均パワー（WMP）を求め、WPP、WMPともに体重で除すことによって体重当たりの相対値を求めた。

5) 形態の評価

被検者の形態に関する評価を行うため、体重、身長、下肢長、大腿長、膝関節高、下腿長、比下肢長、比大腿長、比膝関節高、比下腿長を求めた。これらの項目の計測は、東京都立大学体力標準値研究会（2000）および保志（1989）を参考にして行った。体重は、0.1kgの精度で測定可能な体組成計（タニタ社、マルチ周波数体組成計）を用いた測定した。身長、下肢長、大腿長、膝関節高、下腿長は、1mmの精度で測定可能なアントロポメーター（ヤガミ社）を用いて測定した。下肢長、大腿長、膝関節高、下腿長を算出するために、上前腸骨棘高、膝関節高、内果端高を測定し、保志（1989）と新・日本人の体力標準値（2000）で示されている以下の式に代入した。下肢長は〔（上前腸骨棘高－膝関節高）×0.93＋膝関節高〕、大腿長は〔（上前腸骨棘高－膝関節高）〕、下腿長は〔（膝関節高－内果端高）〕によって算出し、各値を身長によって除すことで比下肢長、比大腿長、比膝関節高、比下腿長を求めた。なお、これらの計測は同一の検者によって行った。

(3) 統計処理

被検者のステップタイプを類型化するために、60m スプリントで走速度が最も高い10m区間のピッチ・ストライド比を変数として、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；内藤ほか, 2013；山元ほか, 2014）。

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、三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。なお、すべての検定には、統計ソフト SPSS ver15.0 J for windows を使用し、統計的有意性は危険率 5% 未満で判定し、10% 未満は有意傾向として扱った。

3. 結果

Fig.5-2 に、クラスター分析による類型化の結果を示した。被検者毎の最も区間速度が高い 10m 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。研究課題 2 では、最大速度区間のピッチ・ストライド比を変数として用いた理由は、実験試技が 60m であるため、研究課題 1 と同様に 30 – 60m 区間の平均ピッチとストライドからピッチ・ストライド比を算出すると、ゴール直前の減速によるストライドの増大が影響すると考えたからである。研究課題 2 で算出したピッチ・ストライド比と、研究課題 1 のピッチ・ストライド比を比較すると、SL-type では 2.05 ± 0.09 (100m レース) と 1.98 ± 0.13 (60m スプリント)、SF-type では 2.43 ± 0.10 (100m レース) と 2.47 ± 0.13 (60m スプリント)、Mid-type では 2.25 ± 0.05 (100m レース) と 2.23 ± 0.04 (60m スプリント) で両者の値に差は認められなかった。このことから、60m スプリント中の最大速度区間のピッチ・ストライド比からも、100m レースと同様にステップタイプの分類を行うことができると判断した。クラスター分析の結果、クラスターが大きく分かれる点(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、各グループのピッチ・ストライド比を比較した結果、Type C, A, B の順で有意に大きかった (Table 6-1)。したがって、Type C はピッチの優位性が高いピッチ型 (SF-type)、Type B はストライドの優位性が高いストライド型 (SL-type)、Type A はどちらにも属さない中間型 (Mid-type) としてステップタイプを分類した。

Fig. 5-3 に 60m 走中の 10m 区間毎のピッチ、ストライド、ピッチ・ストライド比の変化をステップタイプ毎に示した。図中には示していないが、10m 区間毎の走速度はいずれの区間においても、ステップタイプ間の有意差は認められなかった。10m 区間毎のピッチ、ピッチ・ストライド比においては SF-type が、ストライドにおいては SL-type が有意に高かった。また Fig. 5-4 にピッチおよびストライドに対する身長の影響を排除したピッチ指数とストライド指数の、10m 区間毎の値を各ステップタイプで示した。ピッチ指数は 0 – 10m 区間を除く 5 区間において、SF-type が SL-type より有意に高く、ストライド指数は 0 – 20m 区間を除く 4 区間において、SL-type が SF-type より有意に高かった。

(1) タイプ別にみた形態および下肢の筋力・パワー発揮能力の比較

Table 5-1 に各ステップタイプの 60m ゴールタイム、100m レースのシーズンベストタイム (100mSB)、体重、身長、下肢長に関する形態計測の結果を示した。60m ゴールタイム、100mSB はタイプ間で有意差は認められなかった。体重、大腿長、比下肢長、比大腿長、比下腿長においては、タイプ間の有意差は認められなかったが、身長、下肢長、膝関節高、下腿長、比膝関節高は SL-type が SF-type より有意に大きかった。

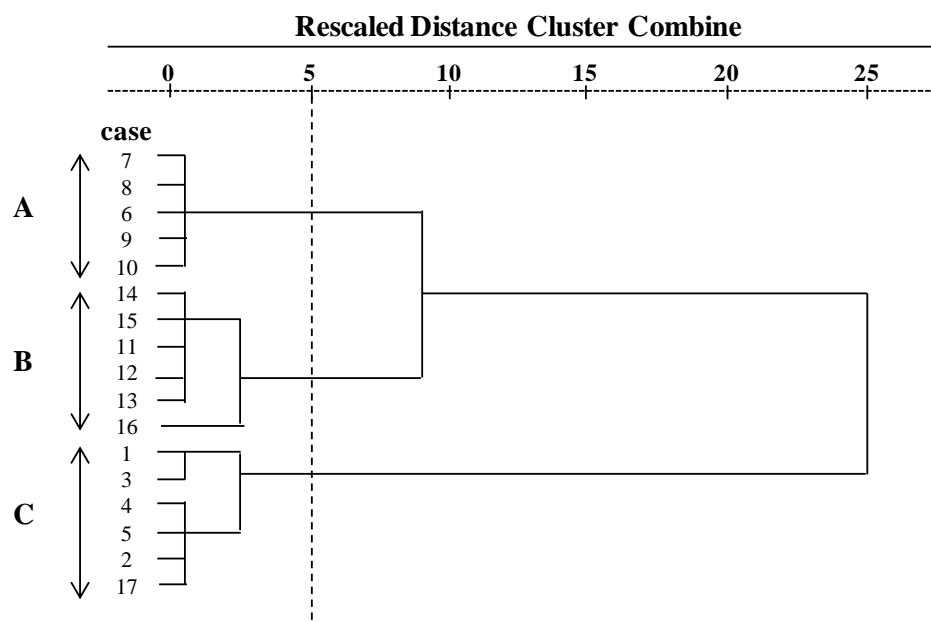


Fig.5-2 Step-types classification according to cluster analysis.

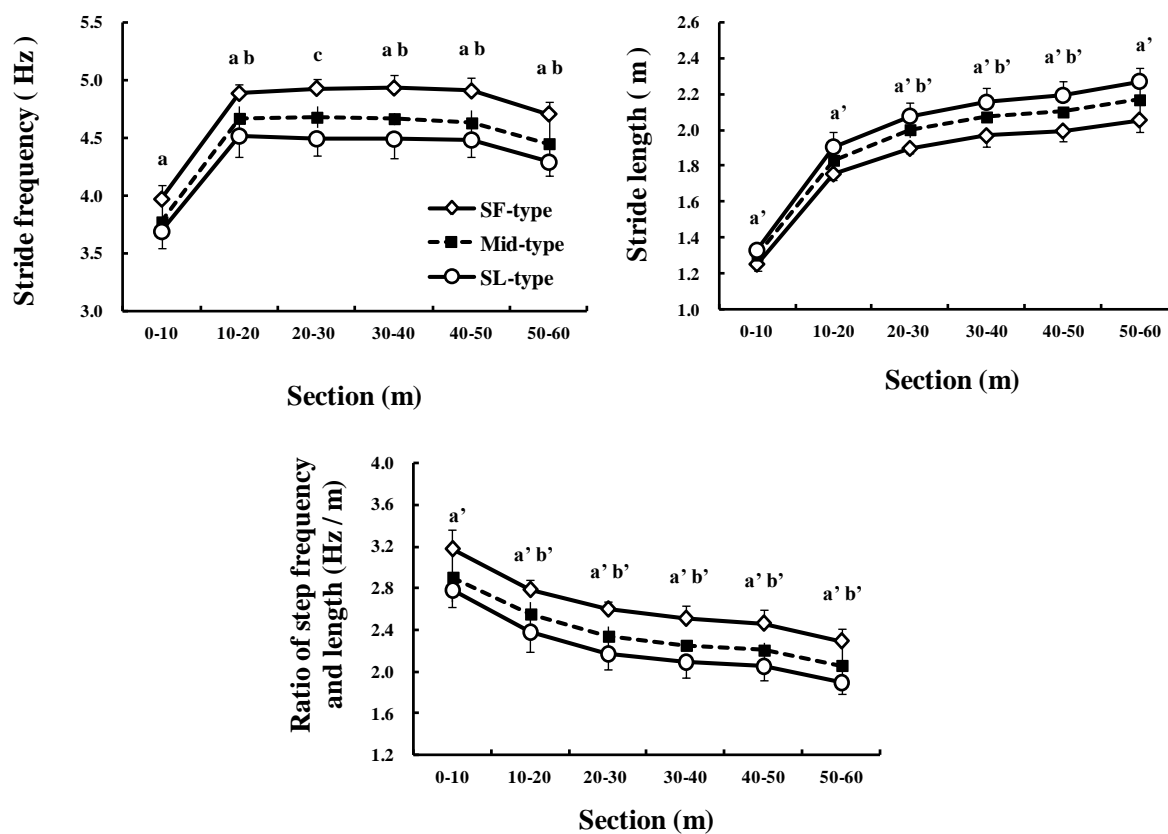


Fig.5-3 Comparison of stride frequency, stride length and the ratio of stride frequency and length in 60-m sprinting among the step-types.

a: SL-type > SF-type (a': SL-type < SF-type)
b: SF-type > Mid-type (b': SF-type < Mid-type)
c: SF-type > Mid-type > SL-type

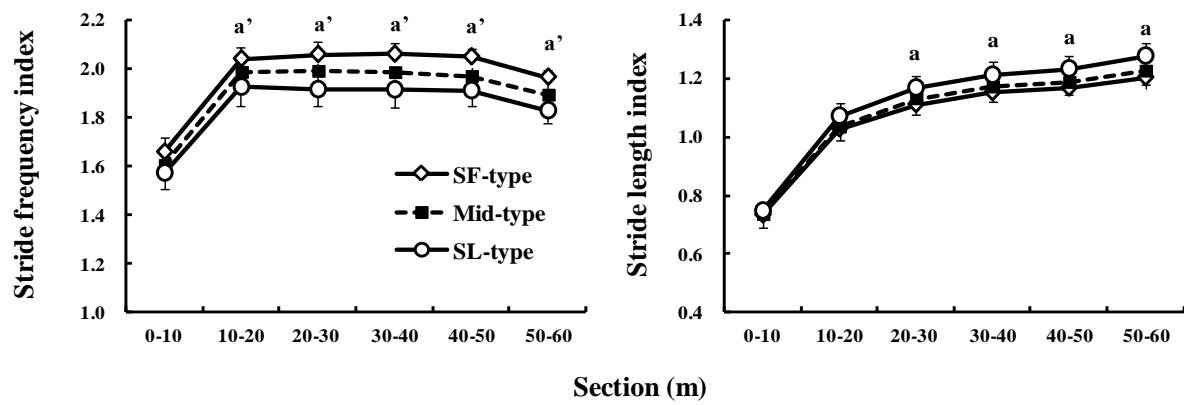


Fig.5-4 Comparison of stride frequency index and stride length index in 60-m sprinting among the step-types.

a : SL-type > SF-type (a' : SL-type < SF-type)

Table 5-1 Comparison of sprint ability and anthropometric characteristics among the step-types.

	All (n=17)	SL-type (n=6)	SF-type (n=6)	Mid-type (n=5)	Variance analysis	Multiple comparison
Ratio of SF / SL	2.23 ± 0.24	1.98 ± 0.13	2.47 ± 0.13	2.23 ± 0.04	*	SF > Mid > SL
60m time (s)	7.36 ± 0.10	7.36 ± 0.11	7.34 ± 0.08	7.38 ± 0.12	n.s.	
100m SB (s)	11.08 ± 0.23	11.12 ± 0.28	11.04 ± 0.20	11.08 ± 0.23	n.s.	
Body height (m)	1.75 ± 0.05	1.78 ± 0.01	1.71 ± 0.06	1.77 ± 0.04	*	SL > SF
Body mass (kg)	65.78 ± 7.40	69.35 ± 5.37	61.75 ± 9.48	66.32 ± 5.18	n.s.	
Leg length (m)	0.92 ± 0.04	0.94 ± 0.01	0.89 ± 0.04	0.93 ± 0.03	*	SL > SF
Thigh length (m)	0.50 ± 0.02	0.50 ± 0.01	0.48 ± 0.02	0.51 ± 0.02	n.s.	
Knee height (m)	0.46 ± 0.02	0.47 ± 0.01	0.44 ± 0.03	0.46 ± 0.01	*	SL > SF
Shank length (m)	0.38 ± 0.02	0.39 ± 0.01	0.36 ± 0.03	0.38 ± 0.01	*	SL > SF
Relative leg length (%)	52.46 ± 0.76	52.70 ± 0.56	52.02 ± 0.85	52.70 ± 0.76	n.s.	
Relative thigh length (%)	28.30 ± 0.72	28.01 ± 0.43	28.29 ± 0.99	28.67 ± 0.57	n.s.	
Relative knee height (%)	25.91 ± 0.67	26.31 ± 0.53	25.40 ± 0.70	26.05 ± 0.44	*	SL > SF
Relative shank length (%)	21.53 ± 0.68	21.86 ± 0.53	21.12 ± 0.78	21.61 ± 0.55	n.s.	

SF: stride frequency, SL: stride length, SB: season best
 *, <, > : p<0.05, n.s. : not significant.

Table 5-2 Comparison of muscle strength, jumping performances and anaerobic power among the step-types.

	All (n=17)	SL-type (n=6)	SF-type (n=6)	Mid-type (n=5)	Variance analysis
Maximum force (kg)	214.04 ± 42.24	210.41 ± 39.58	213.07 ± 60.45	219.57 ± 23.49	n.s.
Maximum force / body mass	3.24 ± 0.46	3.02 ± 0.42	3.41 ± 0.57	3.32 ± 0.31	n.s.
SJ (m)	0.46 ± 0.04	0.47 ± 0.03	0.48 ± 0.04	0.44 ± 0.05	n.s.
CMJ (m)	0.50 ± 0.04	0.49 ± 0.04	0.52 ± 0.05	0.49 ± 0.04	n.s.
RJ index	2.57 ± 0.36	2.57 ± 0.38	2.60 ± 0.50	2.52 ± 0.15	n.s.
RJ contact time (s)	0.16 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.15 ± 0.02	0.15 ± 0.01	n.s.
RJ height (m)	0.40 ± 0.04	0.42 ± 0.03	0.40 ± 0.04	0.39 ± 0.04	n.s.
SLJ (m)	2.08 ± 0.10	2.83 ± 0.08	2.77 ± 0.12	2.81 ± 0.12	n.s.
SFJ (m)	14.52 ± 0.49	14.54 ± 0.31	14.59 ± 0.63	14.43 ± 0.50	n.s.
1kp_PP (w)	226.24 ± 12.13	228.83 ± 10.23	227.67 ± 6.95	221.40 ± 12.13	n.s.
1kp_PP time (s)	5.09 ± 0.68	4.85 ± 0.67	5.17 ± 0.77	5.30 ± 0.62	n.s.
PP / body mass (W / kg)	13.65 ± 0.67	13.75 ± 0.61	13.62 ± 0.66	13.58 ± 0.86	n.s.
MP / body mass (W / kg)	10.98 ± 0.35	11.04 ± 0.31	10.93 ± 0.41	10.96 ± 0.37	n.s.

n.s. : not significant.

Table 5-2 に各ステップタイプにおける下肢の筋力・パワー発揮能力の結果を示した。全ての項目において、ステップタイプ間で有意差は認められなかった。

(2) ステップタイプ別にみた最大速度局面と加速局面における走動作の比較

17名の被検者うち、13名が最大走速度に到達していた40–50m区間を最大速度局面、最大走速度の87%程度の走速度を示す10–20m区間を加速局面とし、各局面の1サイクルの走動作を分析した。Table 5-3 には最大速度局面、Table 5-4 には加速局面における各ステップタイプの支持時間、滞空時間、支持距離、滞空距離、接地距離、離地距離、離地および接地時の身長比重心高、離地時の鉛直速度、離地時の重心角度を示した。また1サイクルの下肢セグメントの角度および角速度の時系列変化について、Fig. 5-5 と 5-6 には最大速度局面、Fig. 5-7 と 5-8 には加速局面における SL-type と SF-type の比較を示した。

最大速度局面においては (Table 5-3)、滞空時間、支持距離、滞空距離、離地距離、離地時の身体重心鉛直速度、離地時の合成重心速度角度は、SF-type が SL-type より有意に小さかった。下肢セグメントの比較では、大腿部角度は SF-type が SL-type に比べ、支持期の 0–100%時と、回復期前半の 0–10%時で有意に大きく、下腿部角度は支持期の 70–100%時と回復期前半の 0–5%時にかけて有意に小さかった。足部角度にはステップタイプ間で有意差は認められなかった。大腿部と足部角速度はステップタイプ間で有意差が認められなかったが、下腿部角速度は回復期後半の 20–30%時で SF-type が SL-type より有意に大きく、支持期の 35–70%時では SF-type が SL-type より有意に小さかった。

加速局面においては (Table 5-4), 滞空時間, 離地時の身長比重心高は SF-type が SL-type より有意に小さかった. 1 サイクルの下肢セグメントの比較では, 大腿部角度はステップタイプ間で有意差は認められなかったが, 下腿部角度は支持期の 80 – 100%時, 回復期前半の 0 – 10%時において SF-type が SL-type より有意に小さく, 足部角度は回復期後半の 45 – 50%時, 支持期の 0 – 10%時において SF-type が SL-type より有意に大きかった. 大腿部角速度はステップタイプ間で有意差は認められなかったが, 下腿部角速度は支持期の 35 – 65%時, 足部角速度は支持期の 10 – 50%時において SF-type が SL-type より有意に小さかった.

下肢セグメントの時系列変化の比較から, 支持期における大腿部と下腿部の角度にステップタイプ間の差が認められたため, 支持期の股関節, 膝関節, 足関節の角度をステップタイプ間で比較した (Fig.5-9). その結果, 最大速度局面では股関節および足関節角度にはステップタイプ間で差は認められなかったが, 膝関節角度は支持期の 10 – 100%時において SF-type が SL-type より有意に小さかった. 加速局面では, 足関節角度には差は認められなかったが, 股関節では支持期の 0 – 100%時, 膝関節では 60 – 100%時において, SF-type が SL-type より有意に小さかった.

支持期および回復期の動作項目として, 離地時の体幹部角度, 支持期後半の膝関節と足関節の伸展量, 回復期のスイング時間, 大腿部と下腿部の動作範囲を比較した (Table5-5). 最大速度局面と加速局面において, 回復期のスイング時間, 大腿部の動作範囲は, SF-type が SL-type より有意に小さかった. 加速局面のみにあって, 体幹部角度と支持期後半の膝関節伸展量は, SF-type が SL-type より有意に小さかった.

Table 5-3 Comparison of sprinting kinematic variables at 45-m among the step-types.

	SL-type (n=6)	SF-type (n=6)	Mid-type (n=5)	Variance analysis	Multiple comparison
Contact time (s)	0.101 ± 0.004	0.095 ± 0.005	0.102 ± 0.004	n.s.	
Flight time (s)	0.125 ± 0.008	0.108 ± 0.004	0.118 ± 0.004	*	SL, Mid > SF
Contact distance (m)	0.97 ± 0.05	0.89 ± 0.06	0.93 ± 0.02	*	SL > SF
Flight distance (m)	1.20 ± 0.09	1.08 ± 0.04	1.17 ± 0.03	*	SL > SF
Touchdown distance (m)	0.29 ± 0.03	0.28 ± 0.03	0.27 ± 0.03	n.s.	
Takeoff distance (m)	0.64 ± 0.02	0.58 ± 0.03	0.61 ± 0.03	*	SL > SF
Relative CG height at takeoff	0.56 ± 0.01	0.55 ± 0.01	0.55 ± 0.01	n.s.	
Relative CG height at touchdown	0.55 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.01	n.s.	
VV at takeoff (m/s)	0.68 ± 0.18	0.47 ± 0.13	0.40 ± 0.06	*	SL > Mid, SF
θCG at takeoff (deg)	3.90 ± 1.00	2.70 ± 0.78	2.25 ± 0.32	*	SL > Mid, SF

*, <, > : p<0.05, n.s. : not significant.

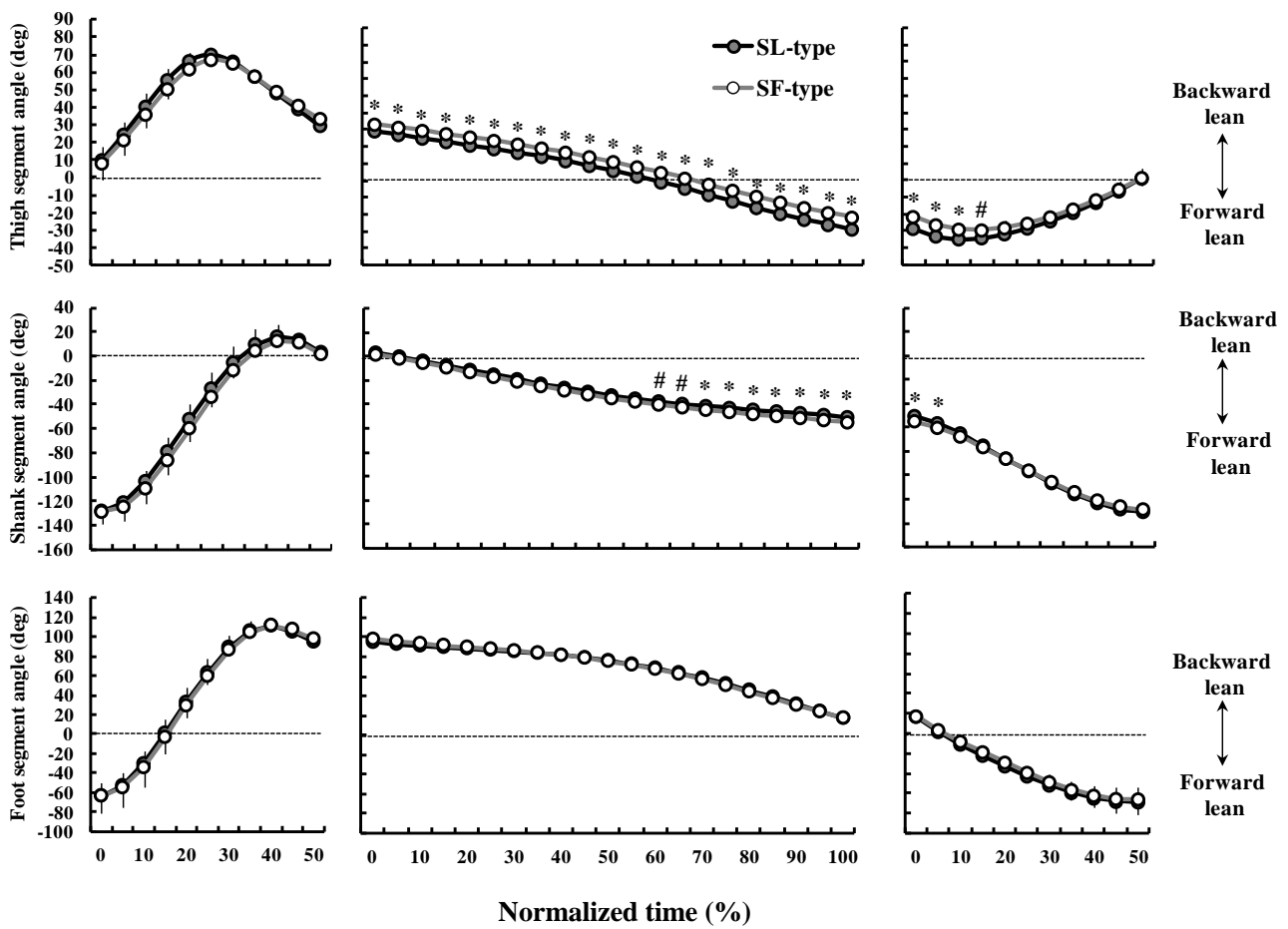


Fig.5-5 Averaged patterns of segment angle displacement of thigh, shank and foot segments during each phase at 45-m. [* : $p < 0.05$, # : $p < 0.10$]

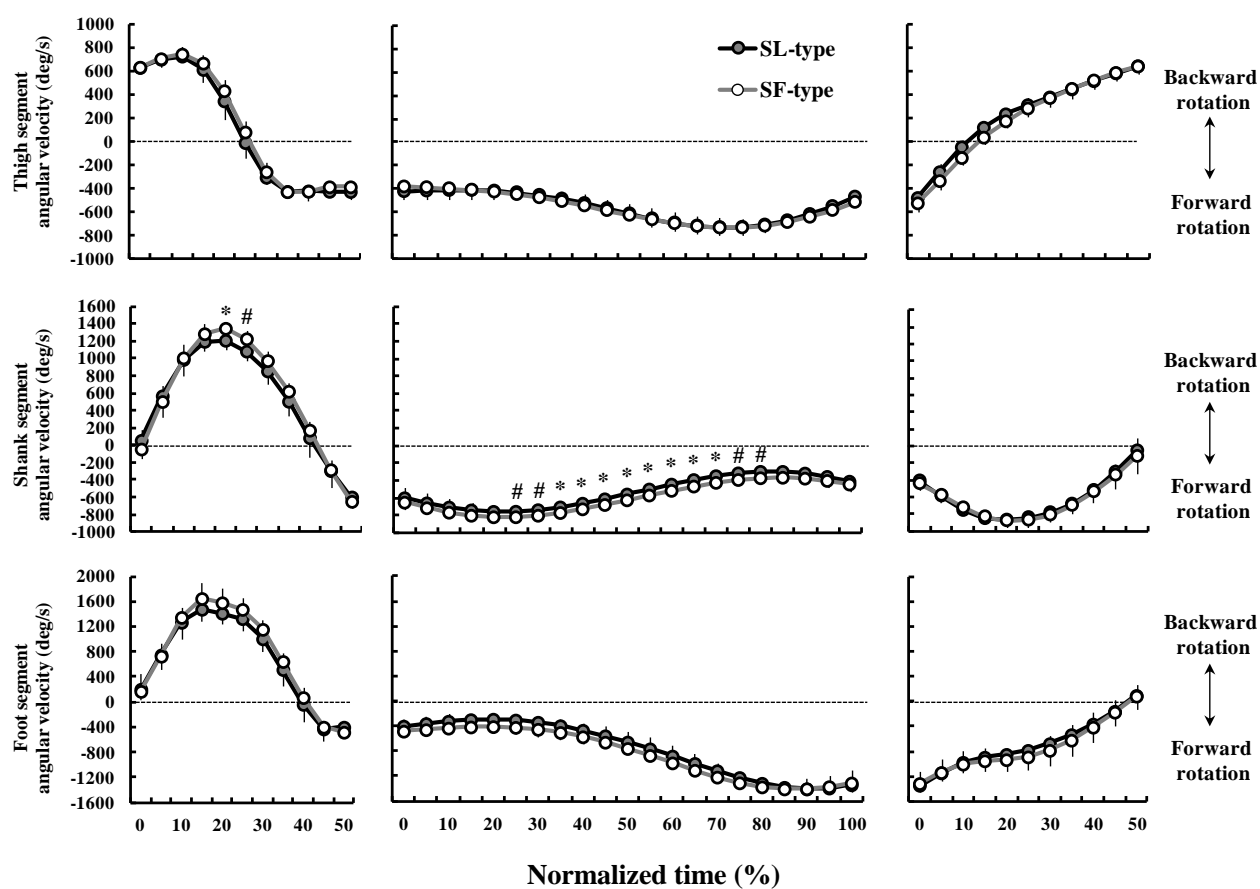


Fig.5-6 Averaged patterns of segment angular velocity of thigh, shank and foot segments during each phase at 45-m. [* : $p < 0.05$, # : $p < 0.10$]

Table 5-4 Comparison of sprinting kinematic variables at 15-m among the step-types.

	SL-type (n=6)	SF-type (n=6)	Mid-type (n=5)	Variance analysis	Multiple comparison
Contact time (s)	0.112 ± 0.003	0.111 ± 0.006	0.111 ± 0.007	n.s.	
Flight time (s)	0.109 ± 0.01	0.095 ± 0.06	0.104 ± 0.007	*	SL > SF
Contact distance (m)	0.91 ± 0.04	0.88 ± 0.06	0.89 ± 0.06	n.s.	
Flight distance (m)	1.00 ± 0.08	0.90 ± 0.08	0.97 ± 0.08	n.s.	
Touchdown distance (m)	0.20 ± 0.03	0.20 ± 0.03	0.19 ± 0.02	n.s.	
Takeoff distance (m)	0.68 ± 0.04	0.66 ± 0.03	0.69 ± 0.05	n.s.	
Relative CG height at takeoff	0.55 ± 0.01	0.53 ± 0.01	0.54 ± 0.02	*	SL > SF
Relative CG height at touchdown	0.54 ± 0.02	0.52 ± 0.02	0.53 ± 0.01	n.s.	
VV at takeoff (m/s)	0.63 ± 0.23	0.50 ± 0.12	0.43 ± 0.09	n.s.	
θCG at takeoff (deg)	4.15 ± 1.59	3.23 ± 0.71	2.75 ± 0.56	n.s.	

*, <, > : p<0.05, n.s. : not significant.

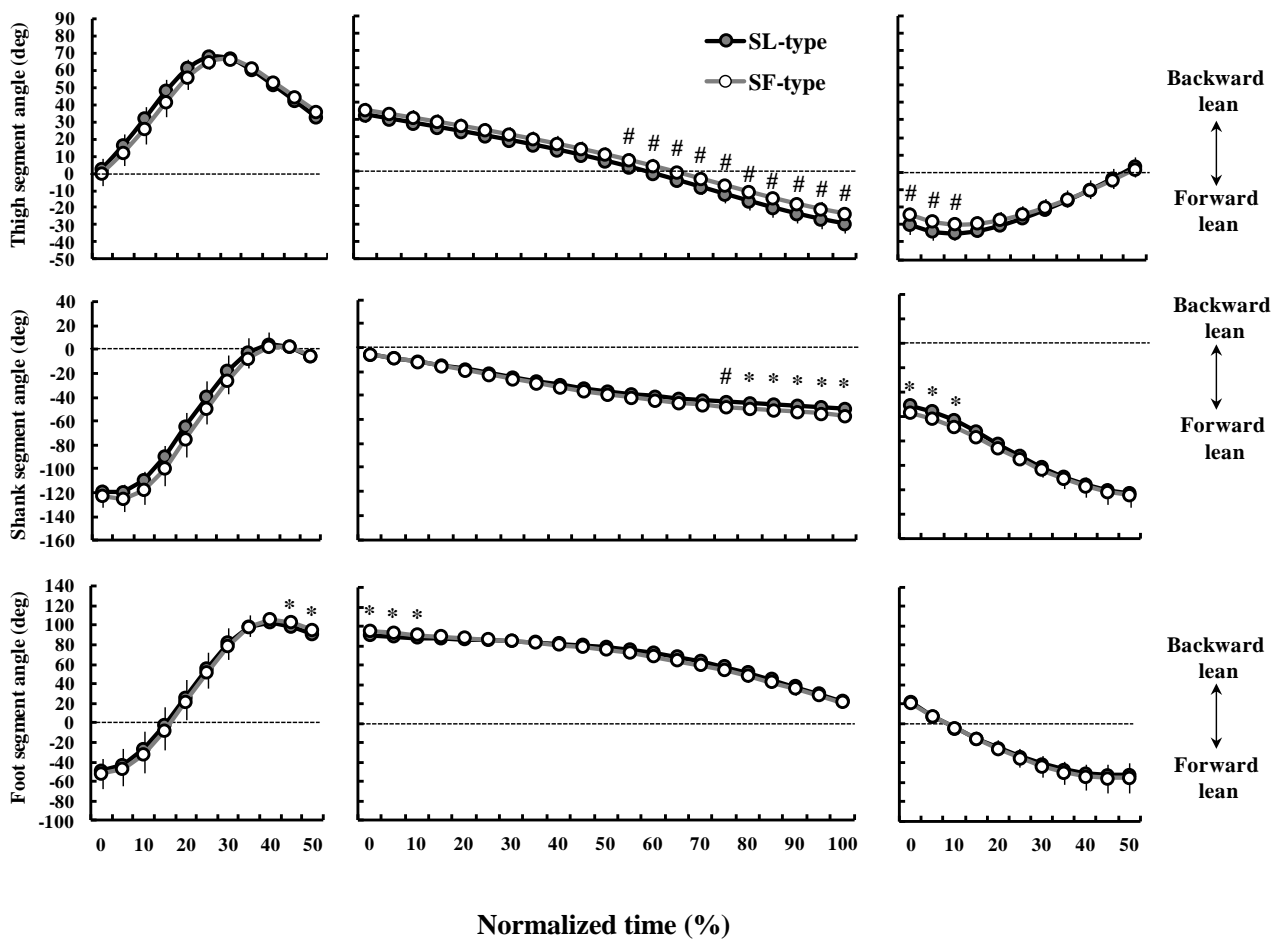


Fig.5-7 Averaged patterns of segment angle displacement of thigh, shank and foot segments during each phase at 15-m. [* : $p < 0.05$, # : $p < 0.10$]

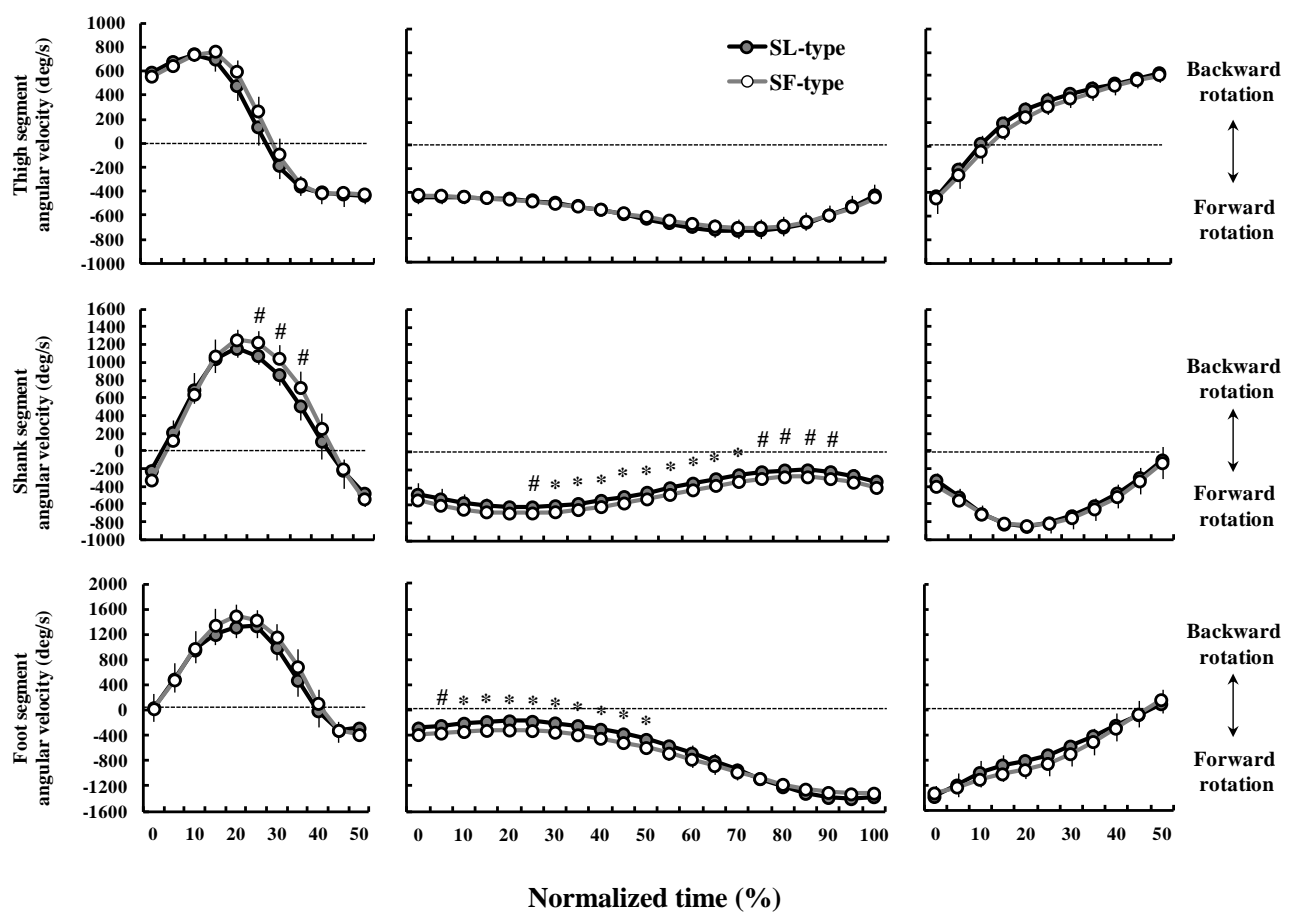


Fig.5-8 Averaged patterns of segment angular velocity of thigh, shank and foot segments during each phase at 15-m. [* : $p<0.05$, # : $p<0.10$]

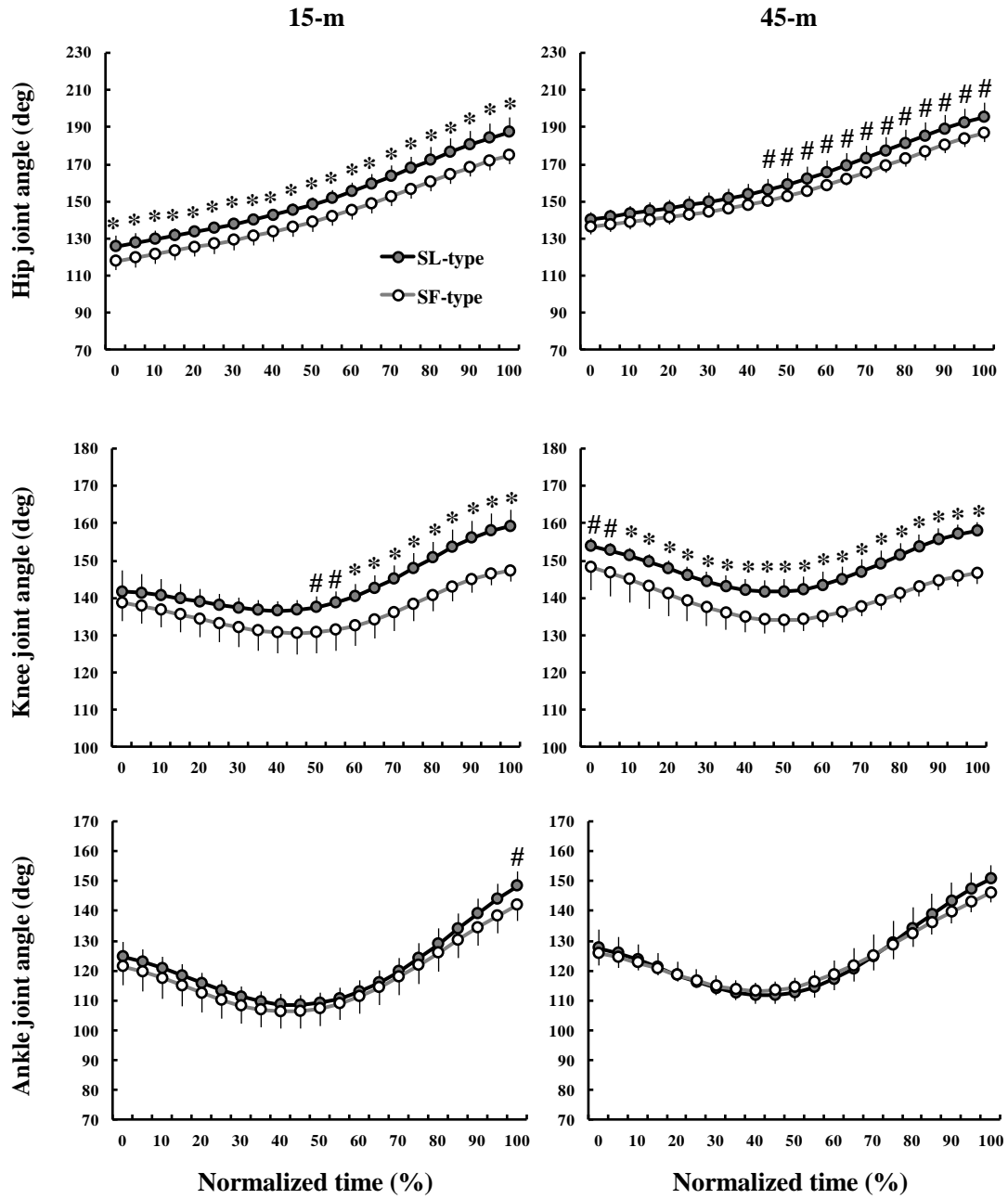


Fig.5-9 Averaged patterns of joint angle displacement of hip, knee and ankle joints during support phase at 15-m and 45-m. [* : $p < 0.05$]

Table 5-5 Comparison of selected sprinting kinematic variables at 15-m and 45-m among the step-types.

	SL-type (n=6)			SF-type (n=6)			Mid-type (n=5)			Variance analysis	Multiple comparison
Sprinting kinematic variables at 15 m											
θ trunk at takeoff (deg)	-18.38	±	3.12	-24.62	±	2.64	-20.08	±	3.32	*	SL > SF
Δ knee extension (deg)	22.80	±	3.50	16.69	±	5.06	18.42	±	3.24	*	SL > SF
Δ ankle extension (deg)	39.99	±	2.34	35.95	±	3.12	34.08	±	7.90	n.s.	
swing time (s)	0.33	±	0.02	0.30	±	0.01	0.32	±	0.01	*	SL > SF
Δ thigh of recovery (deg)	104.03	±	3.45	96.93	±	3.89	102.53	±	5.79	*	SL > SF
Δ shank of recovery (deg)	128.31	±	12.38	128.52	±	10.12	125.72	±	10.13	n.s.	
Sprinting kinematic variables at 45 m											
θ trunk at takeoff (deg)	-9.86	±	4.67	-10.60	±	1.71	-7.17	±	2.07	n.s.	
Δ knee extension (deg)	16.48	±	3.64	13.00	±	3.85	12.56	±	2.44	n.s.	
Δ ankle extension (deg)	39.47	±	4.82	33.04	±	2.49	29.64	±	7.87	*	SL > Mid
swing time (s)	0.35	±	0.01	0.31	±	0.01	0.33	±	0.01	*	SL > SF
Δ thigh of recovery (deg)	105.30	±	2.90	96.98	±	5.30	103.79	±	5.56	*	SL > SF
Δ shank of recovery (deg)	148.02	±	16.71	141.92	±	7.57	137.56	±	9.11	n.s.	

*, >: $p < 0.05$, n.s.: not significant.

4. 考察

60m 走中の区間速度が最も高い区間のピッチ・ストライド比を変数として、クラスター分析を行った結果、研究課題 1 と同様に、被検者は SL-type, SF-type, Mid-type の 3 つのタイプに分類された。そして、60m 走タイムと 100m 走のシーズンベストタイムは、3 つのステップタイプ間で有意差が認められず、ステップタイプ間でスプリントパフォーマンスの差は認められなかった。したがって、本研究では走速度を統制した上で、ピッチとストライドに影響する要因の検討を行うことができると考えられる。

(1) SF-type と SL-type の体力および形態的特徴

ステップタイプの違いを生み出す要因を検討するため、形態的要因として身長や下肢長を、体力的要因として下肢の筋力・パワー発揮能力の測定を行った。その結果、等尺性最大筋力、ジャンプ運動によって測定された瞬発的なパワー発揮能力、全力ペダリング運動によって測定された持続的なパワー発揮能力といった下肢の筋力・パワー発揮能力には、ステップタイプ間で有意差が認められなかった。下肢の瞬発的なパワー発揮能力とピッチおよびストライドとの関係性を検討した研究では、ピッチと SJ, CMJ, ドロップジャンプの跳躍高および立三段跳の跳躍距離の間に正の相関関係が認められたこと (Mero et al., 1981), ピッチと RJ の支持時間に負の相関関係, ストライドと RJ のパワーおよび滞空時間に正の相関関係が認められたこと (岩竹ほか, 2002), ストライドと SJ, CMJ の跳躍高の間に正の相関関係が認められたこと (Kale et al., 2009) が報告されており、一致した見

解が得られていない。その背景には、いずれの研究においても、スプリントパフォーマンスに差がある集団（100m 走自己ベストタイムに 1.0 – 1.5 秒の差）を被検者としていることが考えられ、被検者間のスプリントパフォーマンスの違いがこれらの結果に影響を及ぼしていることが推察される。本研究では、スプリントパフォーマンスに差がない等質集団を被検者として検討した結果、走速度に差がなければ、フィールドテストとして測定可能な下肢の筋力・パワー発揮能力は、ピッチおよびストライドには影響しないことが示唆された。

形態的要因を検討した結果、SF-type は SL-type と比較して、身長、下肢長、膝関節高、下腿長の絶対長が短いことに加えて、膝関節高の相対長が短く、ステップタイプによって下肢の形態的特徴が異なることが示された。Hoffmann（1971）はナショナルレベルのスプリンターを対象に、100m 走中の 50 – 60m 区間のピッチおよびストライドと、身長および下肢長との関係性を検討し、身長および下肢長とストライドの間には正の相関関係が、ピッチの間には負の相関関係が認められたことを報告している。また、横井（1988）はスプリンターを高身長群（1.75m 以上）と低身長群（1.75m 以下）に分け、形態的特徴を検討した結果、高身長群は各部分長と大腿部の相対長が長いことを示している。したがって、ストライドが大きい者ほど身長および下肢長が大きいことは、先行研究と一致していたが、下腿長に違いが認められたことは先行研究で示されていない形態的特徴であり、下肢長および下腿長がステップタイプに影響していることが示唆された。

(2) 最大速度局面におけるステップタイプ別の走動作の特徴

ピッチ、ストライドの構成要素である支持時間、滞空時間、支持距離、滞空距離を比較すると、SF-type は SL-type より滞空時間、支持距離、滞空距離が有意に低かった。これらは、最大速度局面におけるピッチの違いには滞空時間が、ストライドには支持距離および滞空距離が影響していることを示している。支持距離には、接地距離と離地距離が影響するため、両変数を比較したところ、SL-type は SF-type と比較して、離地距離が有意に大きかった。したがって、SL-type は支持期で大きな重心の水平移動を獲得する走動作である一方で、SF-type は支持期で重心の水平移動が小さい走動作であり、離地距離が支持距離に影響していることが示された。

滞空時間および滞空距離には、離地時の重心高（本研究では身長比の重心高とした）、重心鉛直速度、合成速度の角度が影響する（Hay, 1993）。これらの変数を比較した結果、身長比重心高は離地時および接地時ともにステップタイプ間で有意差は認められなかったが、鉛直速度と合成速度角度は、SF-type が SL-type より有意に低かった。Hunter et al. (2004) は、離地時の鉛直速度が増加すると、ストライドが増加する一方でピッチが減少するため、鉛直速度がストライドとピッチの相反関係の主要因であることを報告している。本研究の結果は、Hunter et al. (2004) の報告を支持しており、最大速度局面では離地時の鉛直速度が滞空時間および滞空距離に影響することで、ピッチおよびストライドに違いを生じさせ、走速度が同じスプリンターであってもピッチとストライドの比率は異なることが示された。そして、離地時の鉛直速度がステップタイプによって異なることから、支持期における下肢の動きに違いが生じていると考えられる。

支持脚の動作を検討した結果、SF-type は SL-type と比較して、離地直前の下腿角度、支持期中盤の下腿部角速度、支持期全体の膝関節角度が有意に小さく、支持期全体と離地直後の大腿部角度は、SF-type が SL-type より有意に大きかった。すなわち、SF-type は SL-type に比べて、支持期全体にわたって大腿部が後傾位であることで膝関節が屈曲位であるとともに、支持期中盤で下腿部がより素早く前方へ回転し、支持期後半では下腿部がより前傾していたことを示している。これらの SF-type が示した支持脚の動きは、離地時における重心の鉛直速度の上昇を抑えることに影響していると考えられる。

SF-type は、下肢長および下腿長が短いことで、離地距離の獲得が解剖学的な制約を受けると考えられる。実際に SF-type は SL-type に比べて離地距離が短かった。つまり、SF-type は支持距離が短いことで、大きなストライドを獲得することが SL-type に比べて難しく、SL-type と同程度の走速度を得るにはピッチを高めることが求められる。ピッチを高めるには、支持時間または滞空時間を短縮させる必要があるが、SF-type と SL-type 間では走速度に差がないため、支持時間には差が生じず、SF-type は滞空時間を短縮させ、高いピッチで疾走する必要があると考えられる。離地時に下腿部の前傾が大きいことは、推進力が前方に向けられたことを示す（阿江，2001）と指摘されていることを踏まえると、SF-type が示した支持脚における下腿部の素早い前方回転と離地時の前傾は、離地時における鉛直速度の増加を抑えることで、滞空時間を短縮させ、高いピッチで疾走することを可能にしていると考えられる。

SF-type のように滞空時間が短い場合、離地した足を再び身体重心の真下近くに接地し循環運動を成立させるためには、回復脚をより素早く前方へスイングすることが求められる

と考えられる。回復期の動作を検討した結果、SF-type は SL-type と比べ、離地後から再び同足が接地するまでのスイング時間（Weyand et al., 2000）が短く、回復期における大腿部の前後振幅が小さかった。したがって、SF-type が示した回復期における下肢動作は、短い滞空時間でも下肢を前方へスイングでき、高いピッチで疾走するための合理的な走動作であると考えられる。

(3) 加速局面におけるステップタイプ別の走動作の特徴

本研究では、先行研究で検討されてこなかった、ステップタイプが異なるスプリンターの加速局面における走動作の特徴を検討した。ピッチとストライドの構成要素のうち、滞空時間は SF-type が SL-type より有意に短く、支持時間、支持距離および滞空時距離には有意差が認められなかった。離地時の重心に関する項目をみると、最大速度局面では鉛直速度と合成速度の角度に有意差が認められたが、加速局面では鉛直速度にステップタイプ間の差は認められず、離地時の重心高（身長比）が SF-type は SL-type より有意に低く、加速局面では SF-type は SL-type に比べて、離地時の重心高を低く抑えた疾走であることが示された。また身長比に相対値化した重心高に差が認められたことは、身長および下肢長の形態的要因以外の技術的要因が、離地時の重心高に影響している可能性を示している。

そこで支持脚の動作を検討した結果、SF-type は SL-type と比べて、離地時の体幹角度、支持期全体にわたる股関節角度、支持期後半の膝関節の伸展量、離地直前の下腿部角度、支持期中盤の下腿部角速度が有意に低く、接地時の足部角度が有意に大きかった。つまり、SF-type は SL-type に比べて、体幹部が前傾位であることで股関節が支持期全体にわたって

屈曲位であること、支持期中盤で下腿部が素早く前方回転するとともに、支持期後半で下腿部がより前傾していること、支持期後半での膝関節伸展動作が小さいこと、そして足部がより背屈位で接地し、支持期前半でより素早く前方へ回転することを示している。すなわち、SF-type は支持期の前半および中盤にて、足部および下腿部が素早く前方回転し、離地時に下腿部がより深い前傾位の状態で大腿部が前方回転するため、膝関節の伸展動作が小さく、合わせて体幹部がより深い前傾姿勢をとることで、離地時の重心高を低く抑えたキック動作になり、その結果として滞空時間が短い疾走を示したと考えられる。

最大速度局面と同様に、回復脚の動作を検討した結果、SF-type は SL-type と比べ、スイング時間が短く、回復期における大腿部の前後振幅が小さく、最大速度局面と同様の結果であった。したがって、回復脚の動作は、加速局面と最大速度局面の両局面で共通したステップタイプ間の走動作の相違点であることが示唆された。

以上のように、回復期だけでなく、支持期の動作においてステップタイプ間の顕著な違いが認められた背景には、SF-type と SL-type の形態的特徴が影響していることが考えられる。先述したように、SF-type は SL-type と比べて、下肢長と下腿長が短い形態的特徴を有する。すなわち、SF-type は支持期における接地点と身体重心の距離が短くなるため、支持期にて下腿部がより素早く前方へ回転しやすく、支持期における下腿部の角速度にステップタイプ間の顕著な違いが生じたと推察される。先行研究では、ストライド型のスプリンターや下肢長が長いスプリンターでは、回復期で大腿部が前方へ高く上げられ、膝関節を深く屈曲して回復脚を前方へ引き出しやすい動きを示すという回復脚の動きの相違点が指摘されてきた（宮丸，1971；宮下ほか，1986）。しかし、本研究では回復脚だけでなく、支

持脚の動作に顕著な相違点が存在することが示され、特に支持期における下腿部の前方回転と前傾を伴うキック動作がピッチとストライドの比率に影響する可能性が示唆された。

以上の結果をまとめると、ステップタイプの違いには、身長、下肢長、そして下腿長が形態的要因として影響していること、最大速度局面および加速局面の走動作がステップタイプによって異なることが明らかとなった。最大速度局面と加速局面ともに、滞空時間がSF-typeはSL-typeより短かったことから、滞空時間がステップタイプの違いに影響する要因であることが示唆された。そして最大速度局面では離地時の鉛直速度が、加速局面では離地時の重心高が滞空時間に影響することで、同じ走速度であってもピッチおよびストライドの大きさには違いが生じることが明らかとなった。ステップタイプの違いに影響する走動作を検討した結果、最大速度と加速局面の両局面では、支持期中盤から後半にかけての下腿部の前方回転と前傾、回復期における大腿部の動作範囲が異なること、加速局面では体幹部の前傾角度が異なることが明らかになった。したがって、ステップタイプによって各走局面の走動作が異なることが示され、ステップタイプおよび形態的特徴を考慮したスプリント指導の必要性が示唆された。

本研究の限界および今後の課題として以下のことが挙げられる。本研究では、ステップタイプの違いに影響する走動作の相違点を明らかにしたが、地面反力や関節トルクに関するキネティクスに関わる要因を検討できていない。ストライドには地面反力の大きさが影響する（Mero and Komi, 1986）ため、これらの検討を行うことでピッチとストライドの調節に関する更なる知見を提示できる可能性がある。したがって、今後はキネティクスに関するデータ収集を含めた走速度向上に伴う走動作の変化を、スプリンターのステップタイ

プを考慮しながら検討し、ステップタイプの特徴を手がかりにした指導を実践するための更なる知見を明らかにしていくことが課題である。

5. 要約

本研究の目的は、異なるステップタイプのスプリンターにおける、形態的特徴、下肢の筋力やパワー発揮能力、加速および最大速度局面の走動作に関する相違点を明らかにし、ステップタイプの異なるスプリンターの体力、形態、技術的特徴を示すことであった。

短距離走を専門とする男性学生スプリンター26名を対象に、クラウチングスタートによる60m走を行い、60m走タイムの平均値 \pm 1SD以内に属するスプリントパフォーマンスがほぼ同程度である等質集団の被検者17名を抽出した。60m走で最大走速度が出現した10m区間のピッチ・ストライド比を指標として、クラスター分析によってステップタイプを分類し、身長や下肢長といった形態的要因、最大等尺性脚伸展筋力、各種ジャンプ力、無酸素性作業能といった下肢の筋・パワー発揮能力に着目した体力的要因、そして加速局面（15m地点）および最大速度局面（45m地点）の走動作に関する技術的要因をステップタイプ間で比較した。主な結果は、以下の通りである。

- 1) 形態的要因をステップタイプ間で比較した結果、SF-typeはSL-typeに比べて、身長、下肢長、膝関節高、下腿長が短く、身長に対する膝関節高の相対長が短かった。
- 2) ステップタイプ間で、フィールドテストで測定可能な下肢の筋力・パワー発揮能力の差は認められなかった。
- 3) 最大速度局面の走動作をステップタイプ間で比較した結果、SF-typeはSL-typeと比べて、

滞空時間，支持距離，滞空距離が低値を示し，これらの違いには離地時の重心鉛直速度が影響していた．SF-type は支持期中盤から離地において下腿部が素早く前方へ前傾することで，離地時の鉛直速度増加を抑えた滞空時間の短い疾走を示した．

- 4) 加速局面の走動作をステップタイプ間で比較した結果，SF-type は SL-type と比べて，滞空時間が低値を示し，この違いには離地時の重心高（身長比）が影響していた．SF-type は支持期中盤から離地にかけて，下腿部が素早く前方へ回転し，深く前傾した状態で大腿部が前方へ回転するため，膝関節の伸展動作が小さく，また体幹部の深い前傾姿勢によって離地時の重心高を低く抑えた滞空時間が短い疾走を示した．

以上の結果から，ステップタイプの違いは，下肢長および下腿長の絶対長と膝関節高の相対長の違いによって生じること，ステップタイプによって，加速局面および最大速度局面の走動作が異なり，その違いは滞空時間，支持期中の下腿部の前方回転と前傾，体幹部の前傾，回復期における大腿部の動作範囲に表れることが明らかとなった．

VI. 専門的準備期から試合期への加速局面におけるスプリントパフォーマンスの縦断的变化（研究課題 3）

1. 目的

スプリンターのスプリントパフォーマンスの縦断的变化に関する研究は、走速度が定常状態となった 40 – 60m 付近の最大速度局面を分析対象とした事例報告が中心に行われてきた（新井ほか，2004；中田ほか，2003；稲葉ほか，2002）．最大走速度を高めるための知見を得るには、最大走速度に到達する前の加速局面を分析対象に含めた検討が必要であると考えられるが、これまでにスタートから最大走速度に到るまでの一連の局面を分析対象として、ピッチ、ストライド、走動作の縦断的变化を検討した研究は行われていない．

クラウンチングスタートからのスプリント中における、スタートから最大走速度に到るまでの一連の局面を分析対象とした横断的研究から、0 – 20m はストライドとピッチの急激な増加、20 – 40m はストライドの増加によって走速度が上昇し、40 – 60m 付近で最大走速度に到達すること（羽田ほか，2003；Mackala, 2007），スプリントはスタートから 10m までの初期加速局面，10m から最大走速度に到るまでのトランジション局面，最大走速度からフィニッシュまでの最大速度維持局面で構成されること（Delecluse et al., 1995）が報告されている．また 100m 走中の最大走速度が異なるスプリンターの比較から，Delecluse et al. (1995) の指摘するトランジション局面に相当する，スタート後およそ 10m 地点以降（7–8 歩目）のスプリントパフォーマンスが、最大走速度の違いに影響している可能性が指摘されている（Debaere et al., 2013；内藤ほか，2013）．しかし、より高い走速度を獲

得するための走動作に関する知見は、スタート直後の 1・2 歩目 (Jacobs et al., 1992 ; Kugler and Janshen, 2010 ; Mero et al., 1983) や、40 – 60m 地点の最大速度局面 (Kunz and Kaufmann, 1981 ; 宮下ほか, 1986 ; 伊藤ほか, 1998 ; 矢田ほか, 2011) を対象としたものがほとんどであり、加速局面でも特に 10m 地点以降のトランジション局面といわれる走局面の走速度増加がスプリントパフォーマンスの向上に影響するのか、その局面における走速度増加に対してピッチとストライドのどちらの変化が影響するのか、さらにどのような走動作の変化が影響するのかという点は明らかにされていない。

これまでの縦断的研究では、複数年の試合期におけるスプリントパフォーマンスの変化が検証されてきた (稲葉ほか, 2002 ; 中田ほか, 2003) . しかしコーチと競技者は、試合期で最大限のパフォーマンスを達成することを目的に、準備期を含めた年間のトレーニング計画を立案していることを踏まえると、試合期だけでなく準備期のパフォーマンスも合わせて検証することで、スプリントパフォーマンスの向上に貢献する知見を得ることも重要であろう。このような観点から、試合期で高いパフォーマンスを達成したスプリンターに見られる共通した特徴を明らかにすることは、スプリントパフォーマンスを向上させるために生じさせる変化を示すことに繋がり、トレーニング計画や手段を立案、作成していく際の基礎的な知見を提示できると考えられる。そこで本研究では、競技会への出場開始前の期間であり、かつ短距離走の専門的なトレーニングが導入される専門的準備期の直前 (3 月) と、複数回の競技会に出場し、短距離走に対する高い競技的状态 (村木, 1994) が形成されていると考えられる試合期 (7 月) にて、スプリントパフォーマンスを評価する測定を実施し縦断的变化の検証を行った。

本研究の目的は、短距離走を専門とする複数名のスプリンターを対象として、スプリント中における加速局面の走速度、ピッチ、ストライド、そして走動作に関して、専門的準備期に対する試合期の縦断的变化を検証し、特にトランジション局面でどのような走動作の変化が生じることで、試合期のスプリントパフォーマンスが向上するのかを明らかにすることであった。

2. 方法

(1) 被検者

被検者は、2013 年 3 月 1 週目の専門的準備期の測定時点では、大学陸上競技部で短距離走およびハードル走を専門とする男性 16 名であったが、2013 年 7 月 3 週目の測定時点では、被検者の下肢の怪我や試合日程の都合により 9 名となった。その 9 名の内、5 名が 100m 走、4 名が 110m ハードル走を専門種目としていた。被検者の身体的特性およびパフォーマンスレベルは、年齢が 21.78 ± 1.48 歳、身長が $1.76 \pm 0.03\text{m}$ 、体重が $69.79 \pm 4.36\text{kg}$ 、100m 走の自己最高記録が 10.94 ± 0.37 秒であった。実験を開始するにあたり、研究目的、研究方法、実験に伴う危険性・安全性、個人情報および研究データの取り扱いについて、十分に説明し実験参加の同意を得た。なお本研究は、筑波大学研究倫理委員会の承認を得て行われた。

(2) 測定時期とデータ収集およびデータ処理

被検者に対して、2013 年 3 月と、2013 年 7 月（被検者 H のみ、7 月時点でハムストリン

グスへの違和感を訴えたため、11月1週目に同様の測定を実施した)において、トレーニングによる身体の適応状態の確認のためのコントロールテストとして、以下のスプリントパフォーマンスを評価するための測定を実施した。なお、3月の測定を専門的準備期(Specific Preparation Period : SPP)、7月の測定を試合期(Competition Period : CP)における被検者の競技達成能力の測定とした。7月の測定は、各被検者が各地域の選手権にコンディショニングを調整して出場した後、1週間以内に測定を実施した。

1) スプリントパフォーマンスを評価するための測定試技

スタートブロックを用いたクラウンチングスタートによる60mスプリントを、筑波大学の全天候型陸上競技上の直線走路にて2本行った。全ての測定において、風は微風で測定に大きな影響を及ぼすような気象条件ではなかったが、いずれの測定も追い風にて疾走できるよう走方向を調節した。

スタートはピストルの合図に合わせて行い、2本のうち60mゴールタイムが良い方を分析に用いた。60m走中の5m、15m、25m、45m地点の走速度、ピッチ、ストライド、走動作を分析するため、走路の約30m側方、5m、15m、25m、35m、45m地点にハイスピードカメラ(Casio社、Ex-F1、毎秒300コマ、1/1000秒)を設置した。5m地点のみ、カメラを三脚に固定して撮影し、その他の地点においては計測地点を中心にパンニング撮影した。35m地点のカメラは、60m走中の10m区間毎の通過タイムを算出するために使用し、10m毎の通過地点が分かるようレーン上10m間隔のポイントと35m地点のカメラを結んだ線上にポールを立てた。実座標に換算するため、スタート地点の後方1mからゴール地点までのレーン両側ライン上に1m間隔で較正マークを設置した。

被検者の胴体とボールが重なったコマ数をカウントすることで、10m 区間毎のタイムを算出し、区間平均速度を求めた。1 サイクルにわたる走動作の映像から、身体分析点（23 点）および較正マーク（4 点）を、150 コマ/秒でデジタイズした。分析の対象脚は、右脚とし、左脚接地から再びその脚が接地する瞬間までの 1 サイクルの分析を行った。なお、座標の読み取りは、平滑化処理や微分処理等を考慮して、分析範囲の前後 5 コマを加えた。デジタイズは、ビデオ動作解析システム（DKH 社製、Frame-DIAS IV）を用いて行った。デジタイズによって得られた身体の 2 次元座標を 4 点の較正マークをもとに実座標に換算した。得られた 2 次元実座標をバターワース型デジタルフィルタを用いて平滑化した。このときの遮断周波数は、Wells and Winter（1980）の方法により分析点の座標成分ごとに決定した。実際に用いた遮断周波数は、X 座標が 4.50～9.00Hz、Y 座標が 1.50～10.50Hz であった。阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて、部分および全身の重心の座標を算出した。

(3) 測定項目

得られた各被検者の身体各部位の 2 次元座標データから、宮下ほか（1986）、伊藤ほか（1998）、羽田ほか（2003）、中田ほか（2003）、Bosch and Klomp（2001）、矢田ほか（2011）の研究結果を参考に、下記のような項目を算出した。

- ①ストライド：1 サイクル中の重心の水平変位を 2 等分したものをストライドとした。
- ②ピッチ：1 サイクルに要した時間を 2 等分したものの逆数をピッチとした。
- ③走速度：上記の方法で算出されたストライドとピッチの積とした。

- ④支持距離：支持期における身体重心の水平移動距離とした。
- ⑤接地距離：接地時における身体重心と支持脚拇指球の水平距離を接地距離とした
(td-distance : touchdown-distance)。
- ⑥離地距離：離地時における身体重心と支持脚拇指球の水平距離を離地距離とした
(to-distance : takeoff-distance)。
- ⑦滞空距離：滞空期における身体重心の水平移動距離を滞空距離とした。
- ⑧支持時間：1 サイクルの左右の支持期に要した時間の平均値とした。
- ⑨滞空時間：1 サイクルの左右の滞空期に要した時間の平均値とした。
- ⑩離地時における身体重心の鉛直速度 (V_{Vto}) と身体重心の高さ (to-CGheight)。
- ⑪身体部分及び関節の角度、角速度：身体部分及び関節の角度定義は Fig.6-1 に示した。部分角度については、大腿角は大転子と膝関節を、下腿角は膝関節と足関節を、足底角は踵と足先を結ぶ線分が、それぞれの上位端から下ろした鉛直線となす角度とした。部分角度については、鉛直線を基準に反時計回りを正、時計回りを負（体幹部は時計回りを正、反時計回りを負）とした。関節角度については、体幹部と大腿部のなす角度を股関節角度、大腿部と下腿部のなす角度を膝関節角度、拇指球と足関節を結ぶ線分と下腿部がなす角度を足関節角度とした。そして、これらの角度変化を時間微分することで角速度を算出した。

上記の方法で算出された身体部分および関節角度、角速度は、以下に示す走運動中のイベントにおける値、各イベントで定義された走局面の最大値・最小値などを算出し、動作分析の項目とした。Fig. 6-1 に、本研究における走動作の分析を行ったイベントと局面を示した。

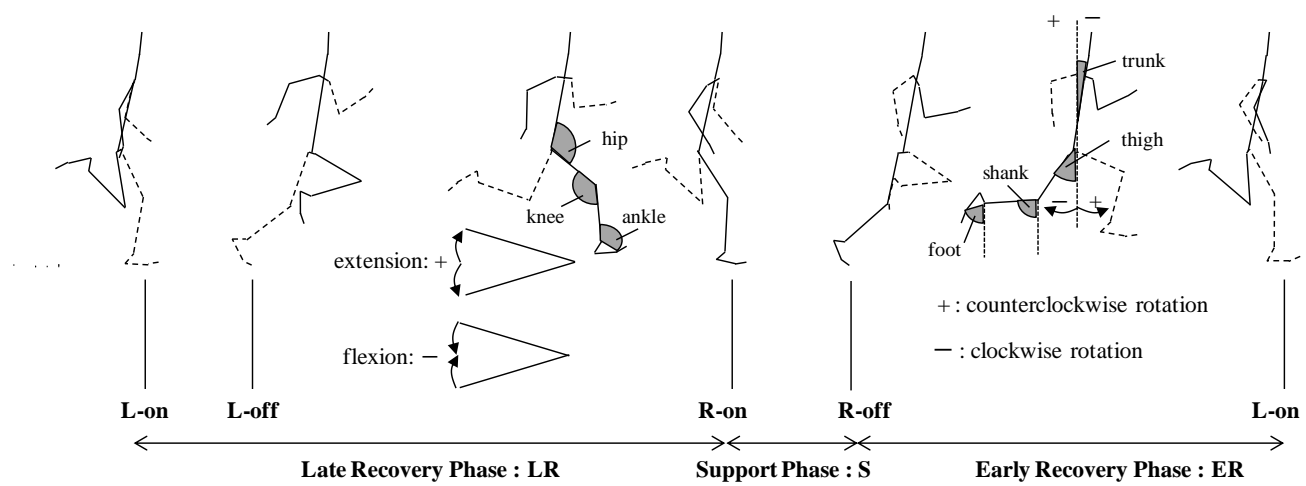


Fig.6-1 Definition of the sprint event, segment, and joint angles.

羽田ほか（2003）を参考に，左足接地（L-on），左足離地（L-off），右足接地（R-on），右足離地（R-off），左足接地（L-on）をイベントとし，L-on から R-on までを回復期後半（Late Recovery Phase：LR），R-on から R-off までを支持期（Support Phase：S），R-off から L-on までを回復期前半（Early Recovery Phase：ER）とした．これらのイベントと走局面をもとに，以下に示す動作項目を抽出した．

a) 支持脚（なお，以下の td は touch-down を，to は take-off を示している）

- ・ 接地時の大腿部（ $\theta_{\text{thigh-td}}$ ）と下腿部（ $\theta_{\text{shank-td}}$ ）の角度
- ・ 離地時の体幹部角度（ $\theta_{\text{trunk-to}}$ ），大腿部（ $\theta_{\text{thigh-to}}$ ）と下腿部（ $\theta_{\text{shank-to}}$ ）の角度
- ・ 膝関節（ $\Delta\theta_{\text{knee}}$ ）と足関節（ $\Delta\theta_{\text{ankle}}$ ）の伸展量：離地時の各関節角度から，支持期における各関節角度の最小値を減じた値
- ・ 支持期中の大腿部（ $\omega_{\text{thigh-S}}$ ），下腿部（ $\omega_{\text{shank-S}}$ ）と足部（ $\omega_{\text{foot-S}}$ ）の角速度の平均値
- ・ 支持期中の股関節（ ω_{hip} ），膝関節（ ω_{knee} ）と足関節（ ω_{ankle} ）の最大伸展角速度（本研究における足関節の伸展は，足底屈を示している）

b) 回復脚

- ・ 大腿部引き出し角度（ $\theta_{\text{thigh-Lon}}$ ）：L-on 時の鉛直線に対する右大腿部角度
- ・ 腿上げ角度（ $\theta_{\text{thigh-LR}}$ ）：回復期後半における大腿部と鉛直線のなす角度の最大値
- ・ Toe-Up 角度（ $\theta_{\text{foot-LR}}$ ）：回復期後半における足部と鉛直線のなす角度の最大値
- ・ 腿上げ角速度（ $\omega_{\text{thigh-LRmax}}$ ）：回復期後半における大腿部と鉛直線のなす角度の最大角速度
- ・ 腿下げ角速度（ $\omega_{\text{thigh-LRmin}}$ ）：回復期後半における大腿部と鉛直線のなす角度の最小角

速度

- ・ 下腿部振り出し角速度 ($\omega_{\text{shank-LR}}$) : 回復期後半における下腿部と鉛直線のなす角度の

最大角速度

- ・ 膝関節引き付け角度 ($\theta_{\text{knee-min}}$), 角速度 ($\omega_{\text{knee-min}}$) : 膝関節の最小角度と最大屈曲

角速度

- ・ 大腿部後方回転角速度 ($\omega_{\text{thigh-ER}}$) : 回復期前半における大腿部と鉛直線のなす角度の

最小角速度

- ・ 下腿部後方回転角速度 ($\omega_{\text{shank-ER}}$) : 回復期前半における下腿部と鉛直線のなす角度の

最小角速度

上記のように算出された項目について, SPP に対する CP の変化率を算出した. なお, 負の値を示す分析項目 (例: 離地時の下腿部角度, 支持期の下腿部の平均角速度) の変化率は, 負の方向へ値が変化した場合は正, 正の方向へ値が変化した場合は負の値を示す.

$$\text{変化率 (\%)} = \{(\text{CP の値} - \text{SPP の値}) / \text{SPP の値}\} \times 100$$

(4) 統計処理

SPP と CP の測定値の比較には対応のある t 検定を用いた. また SPP と CP における 60m スプリント中の 10m 区間毎の走速度, ピッチ, ストライドの差を比較するため, 二元配置の反復測定 (SPP, CP × 各区間) による分散分析を用いた. 交互作用に有意性が認められた際は, 単純主効果検定を行った. 各項目の変化率同士の関係性を検討するため, Pearson の積率相関係数を算出した. なお, すべての検定には, 統計ソフト SPSS ver15.0 J for

windows を使用し，統計的有意性は危険率 5%未満で判定し，10%未満は有意傾向として扱った．

3. 結果

(1) 専門的準備期から試合期へのスプリントパフォーマンスの変化

Fig. 6-2 に SPP および CP で測定した 60m スプリント中の走速度，ピッチ，ストライドの変化を示した．走速度は 10–50m 区間で，それぞれ前の区間より有意に増加し，40–50m 区間で被検者全員が最大値を示した．ピッチは 10–20m 区間で前の区間より有意に増加し，50–60m 区間で 40–50m 区間より有意に低下した．ストライドは，全ての区間でそれぞれ前の区間より有意に増加した．なお，全ての区間の走速度，ピッチ，ストライドともに，SPP と CP の間に有意差は認められなかった．

Table6-1 に専門的準備期（SPP）と試合期（CP）における 60m スプリントに要したタイム，60m 全体の平均速度を被検者毎に示した．対応のある t 検定を行った結果，SPP と CP の 60m 平均速度には有意差が認められなかった（ $p=0.55$ ）．これは被検者によって，60m 走で測定されたスプリントパフォーマンスが向上した者と低下した者が混在していたため，統計的な有意差が認められなかったと考えられる．そこで以下に示す 1 サイクルの走速度，ピッチ，ストライド，走動作に関するデータについては，分析した各項目の SPP に対する CP の変化率を算出し，変化率同士の相関関係を検討することで，スプリントパフォーマンスの変化に関係する要素を明らかにしていく．

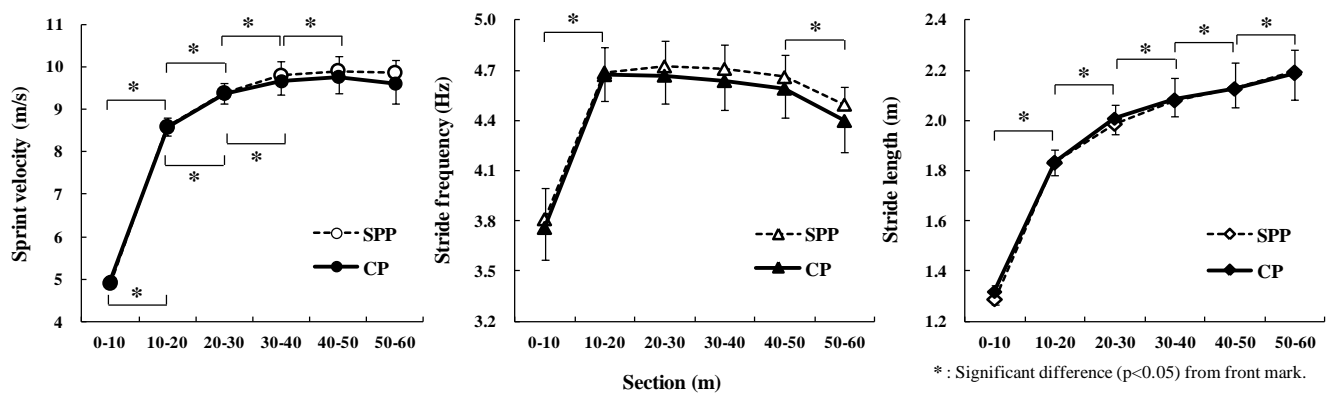


Fig.6-2 Changes of the sprint velocity, stride length and stride frequency in 60-m sprint.

Table 6-1 Time and mean velocity of 60-m sprint running on SPP and CP.

Subjects	All (n=9)	A	B	C	D	E	F	G	H	I
SPP (s)	7.32±0.19	7.22	7.57	7.35	7.42	7.55	7.37	7.04	7.07	7.28
CP (s)	7.36±0.21	7.08	7.44	7.23	7.42	7.56	7.41	7.12	7.25	7.73
SPP (m/s)	8.20±0.21	8.31	7.57	8.16	8.08	7.95	8.14	8.52	8.48	8.24
CP (m/s)	8.16±0.23	8.47	8.06	8.30	8.09	7.94	8.10	8.43	8.28	7.76
Rate of change (%)	0.05±3.36	2.03	6.52	1.75	0.09	-0.18	-0.53	-1.07	-2.43	-5.77

(2) スプリントパフォーマンスの変化と 5m, 15m, 25m, 45m 地点における走速度の変化との関係

Fig. 6-3 に SPP に対する CP の 60m 平均速度の変化率と, 4 地点における 1 サイクルの走速度の変化率との相関関係を示した. 60m 平均速度と 5m 地点の走速度の各変化率間には有意な相関関係は認められなかったが, 15m, 25m, 45m 地点の走速度の各変化率は, 60m 平均速度の変化率との間に有意な正の相関関係が認められた.

(3) 15m 地点における走速度の変化と, ピッチ, ストライド, 支持時間, 滞空時間, 支持距離, 滞空距離の変化との関係

本研究では, スタート後 10m から最大走速度に到るまでのトランジション局面における縦断的变化を検証することが目的であったため, トランジション局面の一部に含まれる 15m 地点付近 (10–20m 区間) に着目して結果を示す. Fig. 6-4 に 15m 地点における走速度の変化率と, 15m 地点のピッチおよびストライドの変化率との相関関係を示した. 走速度とピッチの各変化率との間には, 有意な正の相関関係が認められた. ストライドの変化率との間には, 有意な相関関係は認められなかったが, SPP に対して CP の値が低下した被検者は認められなかった.

Table 6-2 に 15m 地点におけるピッチおよびストライドの変化率と, 支持時間, 滞空時間, 支持距離, 滞空距離の変化率との相関関係を示した. いずれの相関関係においても, 有意水準 5%未満の統計的に有意な相関関係は認められなかったが, 支持時間の変化率とピッチの変化率との間にのみ, 負の相関関係が認められる傾向にあった ($p=0.073$).

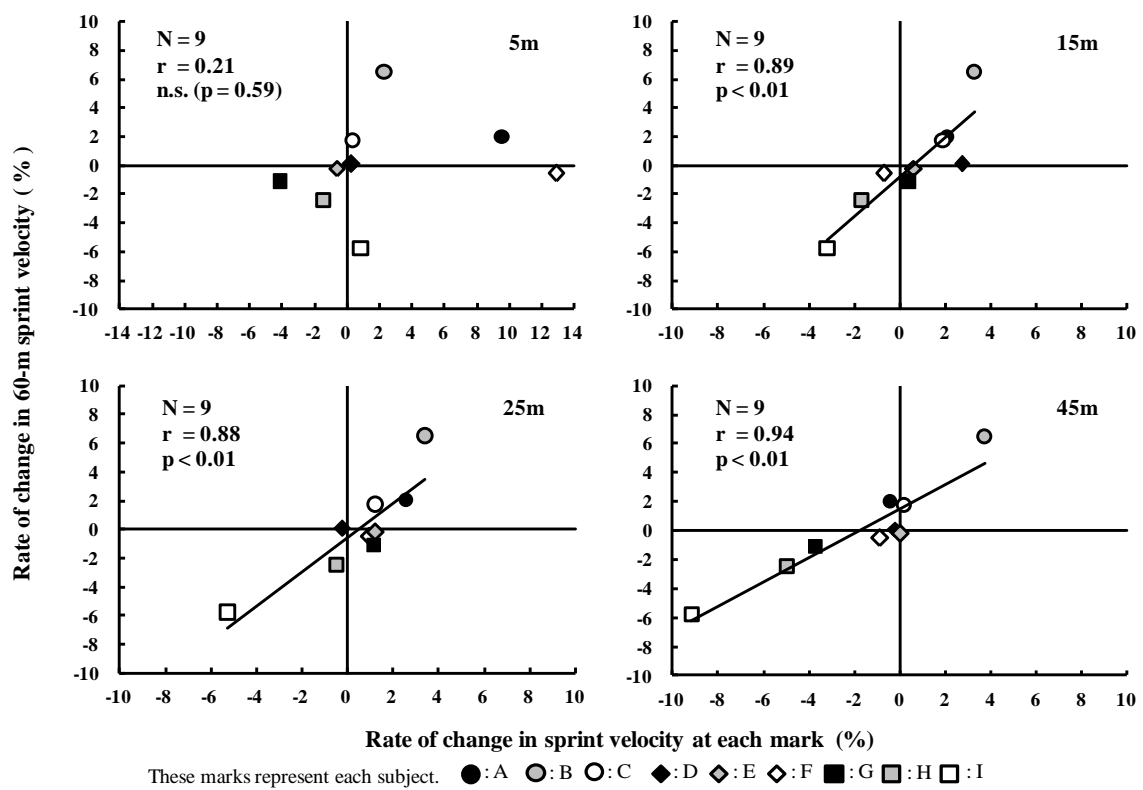


Fig.6-3 Relationships between the rate of change in the 60-m and the each mark sprint velocity.

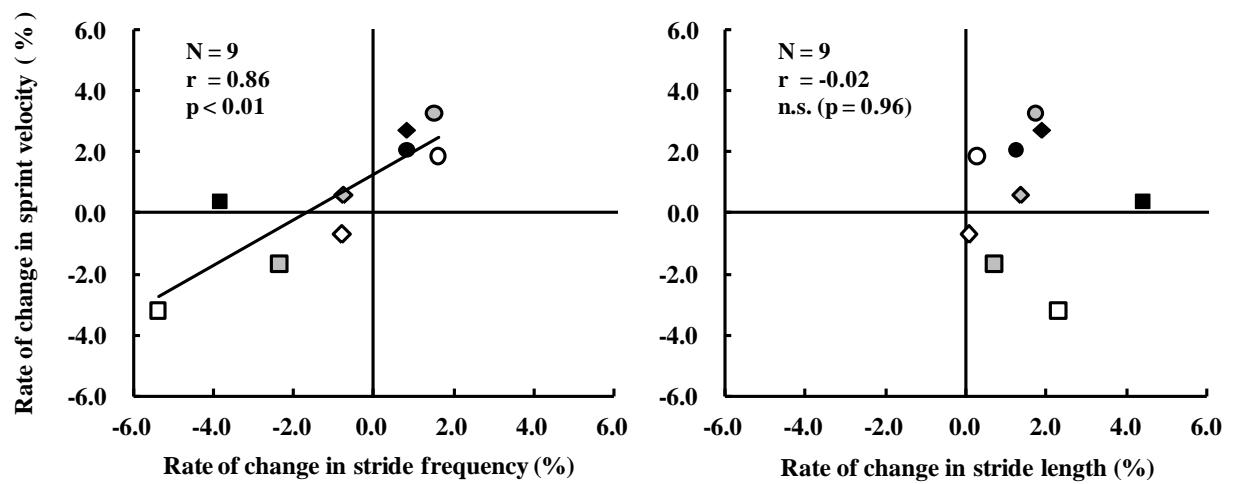


Fig.6-4 Relationships between the rate of change in 1cycle sprint velocity, stride frequency and stride length at 15-m mark.

Table 6-2 Relationships between the rate of change in 1cycle stride frequency, stride length, contact time, flight time, contact distance and flight distance at 15-m mark.

	Contact time	Flight time	Contact distance	Flight distance
Stride frequency	<u>-0.62*</u>	-0.30	-0.43	0.16
Stride length	0.32	0.19	0.25	0.16

* : Significant correlation ($p < 0.1$) .

(4) 15m 地点における走速度、ピッチ、ストライドの変化と、下肢関節・部分の動きの変化との関係

本研究では、最大速度局面の走動作を検討した先行研究（羽田ほか，2003；伊藤ほか，1998；宮下ほか，1986；中田ほか，2003；矢田ほか，2011）を参考に，下肢の動作を評価する項目を抽出し，加速局面の中でも特に，トランジション局面に相当する 15m 地点の支持脚と回復脚それぞれの SPP に対する CP の動作項目の変化率を検討した．Table 6-3 に 15m 地点における支持脚，Table 6-4 に 15m 地点における回復脚の動作項目の変化率と，走速度，ピッチ，ストライドの変化率との相関関係を示した．また Table 6-2 に示したように，ピッチの変化率と支持時間の変化率との間に負の相関関係が認められる傾向（ $p<0.1$ ）にあったため，補足的な結果として，動作項目と支持時間の各変化率の相関係数も Table 6-3 と Table 6-4 に示した．

支持脚の動作項目として，足関節の伸展量（項目 11），支持期中の大腿部平均角速度（項目 12），下腿部平均角速度（項目 13），支持期中の足関節最大底屈角速度（項目 17）の変化率は，走速度とピッチの変化率との間に有意な相関関係が認められた．離地時の身体重心高（項目 4），膝関節の伸展量（項目 10）の変化率は，ピッチの変化率との間に有意な負の相関関係が，支持期中の膝関節最大伸展角速度（項目 16）の変化率は，ストライドの変化率との間に有意な正の相関関係が認められた．支持時間と，接地距離（項目 2），膝関節の伸展量（項目 10），足関節の伸展量（項目 11）の各変化率の間には，有意な正の相関関係が認められた．

Fig. 6-3 Relationships between the rate of change in the kinematic data of stance leg at 15-m mark.

Parameter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	(m/s)	(m)	(m)	(m)	(deg)	(deg)	(deg)	(deg)	(deg)	(deg)	(deg)	(deg/s)	(deg/s)	(deg/s)	(deg/s)	(deg/s)	(deg/s)
Sprint velocity	-0.07	-0.56	-0.01	-0.56	0.34	0.11	-0.23	0.49	0.48	-0.52	<u>-0.88**</u>	<u>0.79**</u>	<u>0.74**</u>	-0.03	-0.19	-0.24	<u>-0.69**</u>
Stride frequency	-0.13	-0.46	-0.13	<u>-0.75**</u>	0.24	0.17	-0.25	0.43	0.27	<u>-0.68**</u>	<u>-0.80**</u>	<u>0.85**</u>	<u>0.68**</u>	-0.22	0.01	-0.54	<u>-0.86**</u>
Stride length	0.14	-0.03	0.25	0.53	0.10	-0.16	0.11	-0.03	0.29	0.48	0.09	-0.36	-0.09	0.37	-0.33	<u>0.67**</u>	0.53
Contact time	0.41	<u>0.72**</u>	0.44	0.31	0.30	<u>0.60*</u>	0.05	-0.41	0.11	<u>0.74**</u>	<u>0.66**</u>	-0.57	<u>-0.62*</u>	-0.20	-0.10	0.45	0.37
1 : VV to 2 : td-distance 3 : to-distance 4 : to-CGheight 5 : θ trunk-to 6 : θ high-td 7 : θ high-to 8 : θ shank-td 9 : θ shank-to 10 : $\Delta\theta$ knee 11 : $\Delta\theta$ knee 12 : ω high-S 13 : ω shank-S 14 : ω foot-S 15 : ω hip 16 : ω knee 17 : ω ankle																	
** : Significant correlation (p<0.05) . * : Significant correlation (p<0.1) .																	

Fig. 6-4 Relationships between the rate of change in the kinematic data of recovery leg at 15-m mark.

Parameter	18 (deg)	19 (deg)	20 (deg)	21 (deg)	22 (deg)	23 (deg/s)	24 (deg/s)	25 (deg/s)	26 (deg/s)	27 (deg/s)
Sprint velocity	<u>0.74**</u>	0.58	0.44	0.09	-0.04	0.17	0.00	-0.51	0.10	-0.52
Stride frequency	<u>0.71**</u>	<u>0.80**</u>	<u>0.65*</u>	0.44	0.18	0.22	-0.08	-0.44	0.19	<u>-0.75**</u>
Stride length	-0.16	<u>-0.60*</u>	-0.54	<u>-0.73**</u>	-0.41	-0.16	0.16	0.02	-0.22	<u>0.60*</u>
Contact time	<u>-0.69**</u>	-0.57	<u>-0.84**</u>	-0.14	-0.21	-0.24	-0.19	0.08	-0.26	<u>0.89**</u>
18 : $\theta_{\text{high-Lon}}$ 19 : $\theta_{\text{high-LR}}$ 20 : $\theta_{\text{foot-LR}}$ 21 : $\theta_{\text{knee-min}}$ 22 : $\omega_{\text{high-LRmax}}$ ** : Significant correlation ($p < 0.05$) . 23 : $\omega_{\text{high-LRmin}}$ 24 : $\omega_{\text{shank-LR}}$ 25 : $\omega_{\text{knee-min}}$ 26 : $\omega_{\text{high-LR}}$ 27 : $\omega_{\text{shank-LR}}$ * : Significant correlation ($p < 0.1$) .										

回復脚の動作項目として、大腿部引き出し角度（項目 18）、腿上げ角度(項目 19)、回復期前半の下腿部後方回転角速度（項目 27）と、ピッチの各変化率との間に有意な相関関係が認められた。回復期における膝関節引き付け角度（項目 21）と、ストライドの各変化率との間に有意な負の相関関係が認められた。また有意水準 5%未満の統計的に有意な相関関係は認められなかったが、Toe-Up 角度（項目 20, $p=0.057$ ）とピッチの各変化率との間に、腿上げ角度（項目 19, $p=0.09$ ）、回復期前半の下腿部後方回転角速度（項目 27, $p=0.087$ ）とストライドの各変化率との間に相関関係が認められる傾向にあった。支持時間と、大腿部引き出し角度（項目 18）、Toe-Up 角度（項目 20）、下腿部後方回転角速度（項目 27）の各変化率との間には有意な相関関係が認められた。

4. 考察

SPP と CP における 60m スプリント中の走速度、ピッチ、ストライドの変化パターン (Fig.6-2) は、100m 走で報告されているもの（羽田ほか, 2003）と類似しており、また 60m スプリントのゴールタイムと 100m 走自己ベスト記録の間には高い相関関係（Nagahara et al., 2014 a）が認められている。したがって 60m スプリントから得られた知見は、100m 走における加速局面の知見としても応用可能であると考えられた。

- (1) スプリントパフォーマンスの変化に影響するランジッション局面初期のピッチ・ストライドの変化

Fig. 6-2 に示した結果から、本研究で着目する加速局面（15m 地点）は、ピッチとストラ

イドの両変数の顕著な増加によって、走速度が増加する局面に相当する。これまでのスプリントパフォーマンスの縦断的变化については、走速度が定常状態である局面を分析した研究しか見当たらず（新井ほか，2004；稲葉ほか，2002；中田ほか，2003），走速度，ピッチ，ストライドが著しく増加する加速局面の縦断的变化を検証した研究はこれまでに見当たらない。なお，Delecluse et al.（1995）は，スタート後 10m から最大走速度に到るまでをトランジション局面と定義しているが，本研究では 15m 地点付近（10–20m 区間）の走動作をトランジション局面におけるスプリントパフォーマンスの評価とした。その理由としては，10–20m 区間の走速度は，60m スプリント中の最大走速度の $87.17 \pm 1.65\%$ （85.22–90.18%）を示すため，加速段階におけるスプリントパフォーマンスを評価できること，またパフォーマンスの異なるスプリンターの加速局面における走速度，ピッチ，ストライドを比較した研究（Debaere et al.，2013；内藤ほか，2013）において，10m を過ぎた地点付近からピッチまたはストライドに差が生じると報告されているからである。したがって，本研究で示される結果は，Delecluse et al.（1995）の局面区分を考慮すると，トランジション局面初期に対する知見として解釈できる。

60m スプリントタイムと各地点の 1 サイクルの走速度の各変化率の相関関係から（Fig. 6-3），本研究で着目する 15m 地点の走速度の変化に対応して，SPP に対する CP のスプリントパフォーマンスが変化していたことが示された。短距離走における加速局面は，初期加速局面（0–10m）とトランジション局面（10–30m）に分けられ（Delecluse et al.，1995；Debaere et al.，2013），スプリントパフォーマンスに対するトランジション局面の重要性が指摘されている（Debaere et al.，2013；内藤ほか，2013）。本研究で着目した 15m 地点

はトランジション局面の一部に含まれており、さらにトランジション局面の走速度の変化が、加速および最大速度局面の両局面を合わせたスプリントパフォーマンスの変化に影響していたことから、縦断的研究の観点からも短距離走指導においてトランジション局面に着目することの重要性が示唆された。

15m 地点の走速度とピッチおよびストライドの各変化率の関係性を検討したところ (Fig. 6-4)、15m 地点のストライドが低下した被検者は認められなかったが、ピッチが増加した被検者ほど走速度が増加し、ピッチが低下した被検者ほど走速度が減少していた。ピッチとストライドには、ピッチが増加すればストライドが低下し、ストライドが増加すればピッチが低下するという相互関係が存在する (Hunter et al., 2005)。したがって、走速度を増加させるには、ピッチかストライドの一方、もしくは両方を増加させることが必要となる (土江ほか, 2010)。本研究の結果から、試合期にて専門的準備期よりも高い走速度を獲得するためには、トランジション局面初期において、ストライドを低下させずに、より高いピッチを獲得できるようになることが重要であると考えられ、逆にピッチの大きな減少を伴うストライドの増加は試合期における走速度の増加に繋がらないことが示された。

ピッチおよびストライドと、支持時間、滞空時間、支持距離、滞空距離の各変化率の相関関係を検討した結果 (Table 6-2)、15m 地点におけるピッチの増加には支持時間の減少が影響している可能性が示された。ストライドは滞空距離によって決定され、この滞空距離は支持期の力積の大きさによって決定される (Hunter et al., 2005)。そこで滞空距離の SPP に対する CP の変化をみると、9 名の内 7 名は変化がない、または増加していた。したがって、試合期にて支持時間が短くなったとしても、地面反力を専門的準備期と同程度、また

はより大きく発揮できるようになった被検者は滞空距離が減少せず、15m 地点にてストライドを低下させずにより高いピッチを獲得できたと考えられる。土江ほか（2010）は、学生短距離・跳躍競技者を対象に、最大速度局面におけるピッチ、ストライド、支持時間、滞空時間の関係性を検討した結果、滞空時間の延長はストライドの増加には繋がるが、同時にピッチの低下を引き起こし、支持時間の短縮はピッチの増加をもたらすが、ストライドへの負の影響は小さいことを指摘している。したがって、最大走速度の約 85%程度の走速度を示す加速局面に相当する 15m 地点であっても、最大速度局面の分析で得られている結果と同様に、支持時間の減少によるピッチの増加が、走速度の増加に影響すると考えられる。

(2)スプリントパフォーマンスの変化に影響するトランジション局面初期の走動作

走動作の変化に関する考察は、これまでに頻繁に研究が行われてきた最大速度局面で得られた走動作の知見と、本研究で示されたトランジション局面初期の走動作の結果を比較することで、最大速度局面との共通点および相違点を検討し、加速局面にて高い走速度を獲得することに影響する走動作の変化を議論する。

15m 地点の支持期における膝関節と足関節の伸展量、支持期中の大腿部と下腿部の平均角速度、足関節の最大底屈角速度の各変化率は、ピッチの変化率と有意な相関関係を示した (Table 6-3)。これは支持期後半における膝関節の伸展動作と足関節の底屈動作が小さく、大腿部と下腿部がより素早く前傾する動作に変化したスプリンターほど、ピッチが増加したことで走速度が増加したことを示している。一方、支持期後半で膝および足関節の大き

な伸展動作を伴うことで、大腿部と下腿部を素早く前傾させる動作に変化できなかったスプリンターは、ピッチが低下したと解釈できる。また支持時間と動作項目の変化率の関係性から、より身体重心の近くに接地し、支持期の膝関節と足関節の伸展動作が小さくなったスプリンターほど、支持時間が短縮したことが示された。

最大速度局面の走動作を分析した先行研究によると、世界一流スプリンターは、支持期後半の膝関節、足関節の伸展動作が小さいため、大腿部の後方スイング速度が足部の後方スイング速度に変換される合理的なキック動作をしていること（伊藤ほか，1992），世界一流スプリンターは学生スプリンターに比べ、支持期前半における大腿部後方スイング角速度と、支持期後半の下腿部前傾角速度が大きいこと（矢田ほか，2011），身体重心の近くへの接地が、短い支持時間に関係すること（Kunz and Kaufmann, 1981）が報告されている。本研究で示された 15m 地点における動作変化の結果は、これまでの最大速度局面を分析対象とした研究から得られた、高い最大走速度を維持する合理的な走動作の知見（Kunz and Kaufmann, 1981；伊藤ほか，1992；矢田ほか，2011）と一致しており、高い最大走速度を維持するために重要であると考えられる走動作は、加速局面である 15m 地点においても、走速度を増加させるための重要な動作であることが示唆された。

上記の支持脚の動作変化に加えて、離地時の身体重心高の変化率も、ピッチの変化率と有意な相関関係が認められた。ピッチが増加したスプリンターほど、支持期後半の膝および足関節の伸展動作が小さくなっていたことを考慮すると、これらの関節の伸展動作の減少が離地時の身体重心高を低くすることに影響し、ピッチが増加したスプリンターほど離地時の身体重心高が低くなるという結果が示されたと考えられる。

15m 地点における回復脚の動作項目については、ピッチと大腿部引き出し角度、腿上げ角度、回復期前半における下腿部後方回転角速度の各変化率との間に有意な相関関係が示された (Table6-4)。また有意水準 5%未満の統計的に有意な相関関係ではなかったが、ピッチと Toe-Up 角度の各変化率との間に正の相関関係が認められる傾向にあった。これらの結果は、ピッチが増加したスプリンターほど、回復脚の大腿部が前方へ素早く引き付けられ、大腿部がより引き上げられるようになったこと、足部がより背屈位に変化したこと、右足離地後に下腿部が後方へ回転する動作が小さくなったことを示している。また支持時間の変化率と動作項目の関係から、離地後に回復脚の下腿部が後方へ回転する動作が小さくなること、回復脚の大腿部が前方へ素早く引き出されるようになること、足部がより背屈位に変化することが、支持時間の短縮に関係していることも示された。

最大速度局面の回復脚の動作を検討した先行研究では、世界一流スプリンターほど回復脚の引き付け動作が早く (矢田ほか, 2011)、大腿部が前方へ引き付けられているほど接地時間が短いこと (Kunz and Kaufmann, 1981)、回復期前半の股関節屈曲筋群による仕事を大きくし、回復脚の引き出し速度を高めることが走速度の増加に重要であること (中田ほか, 2003) が報告されている。また離地後の回復脚は、股関節と膝関節の屈曲動作が同時に生じる直線的な前方へのスイング動作が理想であり、離地後に下腿が後方へ回転するような動作は、回復期前半における回復脚の前方への動きを遅らせることが指摘されている (Bosch and Klomp, 2001)。したがって、最大速度局面の分析から得られている先行研究の知見と、本研究の結果を照らし合わせると、離地後に下腿部が後方へ回転し巻き込むような動作を抑え、回復脚が前方へ素早く引き出される動作に変化することは、加速局面と最

大速度局面の両局面において、支持時間の短縮によってピッチを増加させ、より高い走速度を獲得することに影響する動作変化であることが示唆された。

最大速度局面の走速度と腿上げ角度には相関関係がないこと（伊藤ほか，1998）が報告されているが，本研究では 15m 地点のピッチが増加したスプリンターほど，大腿部がより上方へ引き上げられるように変化しており，最大速度局面で報告されている結果とは異なっていた．本研究のデータから，回復期後半の腿上げ角度と，腿上げ角速度の各変化率との間に相関関係は認められなかったが（ $r=0.42$, $p=0.27$ ），腿上げ角度と大腿部引き出し角度の各変化率との間には有意な正の相関関係（ $r=0.74$, $p<0.05$ ）が認められた．したがって，腿上げ動作を積極的に行ったためにピッチが増加したのではなく，回復期前半で大腿部の引き付け動作が素早く行われた結果として，大腿部が高く引き上げられるようになったと考えられる．

回復脚の大腿部の引き付け動作以外に，ピッチが増加したスプリンターほど足部がより背屈位に変化する傾向が認められた．接地直前の局面では，下腿部後面の筋群の予備緊張を引き出すために，足部は背屈位にあることが望ましい（Bosch and Klomp, 2001）と考えられており，走運動中につま先を上げるよう指摘する指導がよく行われている．しかし本研究では筋群の予備緊張との関連を検討することはできない．そこで本研究で算出した回復脚の動作項目と，Toe-Up 角度の各変化率の相関関係を検討すると，Toe-Up 角度の変化率と下腿部後方回転角速度の変化率（ $r=-0.80$, $p<0.01$ ），Toe-Up 角度の変化率と大腿部引き出し角度の変化率（ $r=0.68$, $p<0.05$ ）との間に有意な相関関係が認められた．したがって，回復脚の足部がより背屈位に変化することが，離地後に下腿部が後方へ回転する動作を小

さくすることに関係し、大腿部の前方への引き出しを素早くすることに繋がる可能性が示された。

以上の本研究の結果から、専門的準備期に対して試合期の走速度を増加させるためには、トランジション局面初期において、ストライドを低下させずにより高いピッチで疾走できるようにすることが関係することが明らかとなった。そして、このピッチの増加には、最大速度局面における合理的な走動作として指摘されている、支持脚や回復脚の動作に類似した走動作への変化が影響していることが示唆された。専門的準備期の測定から試合期の測定の間において、スプリンターはパフォーマンスの向上を目指してトレーニングを実践し、さらに試合を繰り返している。したがって、本研究で示された結果には、試合期で実施されたトレーニングや試合への適応が、スプリントパフォーマンスの変化に影響している可能性がある。しかし、本研究では被検者全員のトレーニング内容を統一しておらず、また 100m 走と 110m ハードル走を専門とする被検者が混在しているため、個々のトレーニング内容の変化を詳細に分析できていないことから、本研究で示された変化に影響を及ぼしたと考えられるトレーニングの背景を明らかにできていないという課題が残っている。このため今後は、専門的準備期から試合期を通して実践されたトレーニング手段の詳細な分析、各被検者の試合結果の変化に関する分析なども加えて検討することが課題である。

5. 要約

本研究では、体育系大学陸上競技部で短距離・障害走を専門とするスプリンター9 名を対象にして、専門的準備期と試合期のスプリントパフォーマンス、走動作の縦断的な変化

を検証し、トランジション局面（10－20m 区間）におけるスプリントパフォーマンスの変化が、試合期での走速度向上へ及ぼす影響を検討した。本研究によって得られた結果は以下の通りであった。

- 1) 15m 地点の走速度の変化に対応して、専門的準備期に対する試合期のスプリントパフォーマンスが変化しており、トランジション局面初期の走速度の増加が重要であることが示された。
- 2) 15m 地点では、ストライドを低下させずに、より高いピッチを獲得できるようになることが走速度を増加させ、このピッチの増加には支持時間の減少が影響していた。
- 3) 支持期中の膝関節と足関節の伸展動作が小さく、大腿部と下腿部がより素早く前傾することで、離地時の身体重心の上昇が少ないキック動作に変化することが、15m 地点のピッチおよび走速度の増加に影響していた。
- 4) 回復脚については、足部がより背屈位になることで、離地後の下腿部の後方回転が抑えられ、大腿部が前方へより素早く引き出される動作に変化することが、15m 地点のピッチの増加に影響していた。

これらのことから、専門的準備期に対して試合期で高いスプリントパフォーマンスを獲得するためには、トランジション局面初期におけるスプリントパフォーマンスを変化させることが重要であり、この変化は最大速度局面で指摘されている合理的な走動作と類似した走動作への改善を図ることによって達成できると考えられる。

VII. 総合考察：ステップタイプに応じた 100m 走の加速局面に対する指導の着眼点

100m 走では、スタートから加速局面の間で、走動作が時々刻々と変化することで最大走速度に到達し（村木・宮川，1973；Nagahara et al., 2014 b），この最大走速度の大きさによってゴールタイムが決定される（阿江ほか，1994；Gajer et al., 1999；Mackala, 2007；松尾ほか，2010）。したがって，100m 走のトレーニングでは，加速局面の走速度を大きく増加させることで最大走速度を高め，それをできる限り長く維持できるようになることがトレーニング目標となる。走速度はピッチとストライドの積によって決定され（Hay, 1993），またピッチとストライドの間には，ピッチが高ければストライドが小さく，ストライドが大きければピッチが低いというトレードオフの関係が存在する（Hunter et al., 2004）。すなわち，ピッチとストライドの両方を同時に増加させて，走速度を向上させることが難しいため（Dorn et al., 2012），走速度の異なるスプリンター間のピッチとストライドの差を検討することや，走速度の向上に伴うピッチとストライドの変化を検討することが，スプリントパフォーマンスを高めるための重要な実践的示唆を与えることに繋がる。

100m 走の最大走速度は，各スプリンターの適切なピッチとストライドの比率の結果として達成される（Donati, 1995；Kunz and Kaufmann, 1981；Schiffer, 2009）ことが指摘されている。そしてこのピッチとストライドの比率には，スプリンターの身長，下肢長，筋力・パワー発揮能力といった要因が影響することで（Kunz and Kaufmann, 1981；Schiffer, 2009），個々のスプリンターに応じたピッチとストライドの特性（ステップタイプ）が存在する。実際に，世界トップスプリンターはストライド型（SL-type）とピッチ型（SF-type）

に大別されることが示されている（阿江ほか，1994；宮下ほか，1986；Salo et al., 2011）。

しかし，ステップタイプを判断する際の基準値の検討，ステップタイプによる形態，下肢の筋力・パワー発揮能力，走動作に関する相違点の検討，ステップタイプ毎のスプリントパフォーマンスが高いスプリンターの特徴が検討されてこなかった．さらにステップタイプを考慮した上で，スプリンターにおける加速局面のスプリントパフォーマンスを検討した研究が行われていないため，最大走速度を高めるためのステップタイプに応じた加速局面の指導の着眼点は明らかになっていない．この着眼点を示すために，本章では，まず研究課題 1 と 2 の結果をもとにステップタイプの異なるスプリンターの特徴を捉え，次に研究課題 1 と 3 の結果をもとにステップタイプに応じたスプリントパフォーマンスを高めるための加速局面の疾走を示し，さらにステップタイプの異なるスプリンターにおけるピッチとストライドの縦断的变化過程について，総合的に考察を行っていく．これら 3 つの観点からスプリンターのステップタイプに応じた 100m 走の加速局面に対する指導の着眼点に関する実践現場への示唆を示すとともに，今後の課題について考察する．

1. 日本人学生スプリンターにおけるステップタイプの分類

(1) ステップタイプの異なるスプリンターの特徴

研究課題 1 では，学生トップレベルのスプリンターを対象とし，最大速度局面に相当する 30－60m 区間のピッチ・ストライド比を変数としたクラスター分析を用いて，スプリンターのステップタイプを分類した．その結果，ストライドの優位性が高い SL-type，ピッチの優位性が高い SF-type，どちらにも属さない Mid-type の 3 つのステップタイプに分類さ

れ、ステップタイプによって、スタートから最大走速度に到達するまでのステップパラメーター（ピッチ、ストライド、支持時間、滞空時間）の動態が異なることが示された。すなわち、最大速度局面のステップタイプに応じた特異的なピッチとストライドの動態が、スタートから加速局面で既に形成されていることが明らかになった。つまり、大学生スプリンターでは異なるステップタイプのスプリンターが混在しており、各ステップタイプの特徴を把握した上で実践指導を行っていく必要があると考えられる。そこで研究課題 2 では、学生スプリンターの形態的特徴、筋力・パワー発揮能力の特徴、そして走動作の特徴を検討することで、ステップタイプの違いに影響する要因を示した。

研究課題 2 の結果から、SF-type と SL-type 間では、フィールドテストによって測定可能な下肢の筋力・パワー発揮能力（等尺性脚伸展筋力、スクワットジャンプ、カウンタームーブメントジャンプ、リバウンドジャンプ、立幅跳、立五段跳、全力自転車ペダリング）の違いは認められなかった。すなわち、各種ジャンプ運動で測定される短時間で大きな力を発揮する能力や、全力ペダリング運動で測定される下肢を素早く回転させる能力が、ステップタイプの違いには影響しておらず、形態的要因または技術的要因がスプリンターにおけるステップタイプの違いを生み出す要因であることが示唆された。

形態的特徴については、SF-type は SL-type と比較して、身長、下肢長、下腿長の絶対長が短く、さらに膝関節高の相対長が短かった。下肢長の違いによって、走動作にも違いが認められ（宮丸, 1971）、特に回復期における下肢の前後へのスイング動作が異なる（宮丸, 1971 ; Watts et al., 2012）ことが指摘されている。すなわち、ステップタイプの違いには、下肢の形態的特徴の相違が、支持期や回復期における下肢の動きに影響していることが考

えられる。

最大速度局面および加速局面の走動作については、SF-type は SL-type と比較して、滞空時間が短く、最大速度局面では離地時の身体重心鉛直速度が小さいこと、加速局面では離地時の身体重心高（身長比）が低いことが明らかになった。下肢の動きについては、最大速度局面と加速局面の両局面で共通して、SF-type は SL-type より支持期において下腿部が素早く前方回転するとともに離地まで深く前傾すること、支持期において膝関節が屈曲位であること、回復期における大腿部の動作範囲が狭いことが示された。そして、加速局面のみに認められた走動作の特徴としては、SF-type は SL-type と比較して、離地時に体幹部がより深い前傾姿勢であるとともに、支持期後半での膝関節伸展動作が小さかった。すなわち、両局面の走動作を総合的に考察すると、SF-type が示した支持脚の動きは、離地時に身体重心を鉛直方向よりも水平方向へと押し出すことで滞空時間を短縮させ、高いピッチで疾走することを可能にするものであると考えられる。一方、SL-type は支持期で膝関節をより伸展位で保持することで重心が高く保たれるため、接地点から身体重心までの距離が長く、支持脚の慣性モーメントが大きいため（三井・図子，2006）、下腿部の前方回転が遅くなると推察される。その結果、支持期で膝関節が伸展されることで、身体重心が水平方向よりも鉛直方向へと押し出され、滞空時間が長くなると考えられた。

したがって、形態的特徴および走動作の特徴が影響することで、スプリンターは異なるピッチとストライドの特性を示し、それぞれで共通した固有の走動作を示すことが明らかとなった。またその走動作は回復期のみに表れるわけではなく、支持期にてステップタイプ毎の特徴が顕著に表れることが明らかになった。これらの結果から、100m 走の指導時に

は、指導対象となるスプリンターのピッチ・ストライド特性を把握し、走技術の改善を図っていくことが必要であると考えられる。ピッチ・ストライド特性を考慮した指導を実践するためには、実践現場で簡易的に、スプリンターのステップタイプを判断するための指標とその基準値が示されていることが必要であろう。さらに、これまでのスプリンターにおけるステップタイプに関する研究は、世界トップスプリンターを対象とした研究であったことを踏まえ（阿江ほか，1994；宮下ほか，1986），彼らのピッチおよびストライドのデータと，本研究の日本人学生スプリンターのデータを合わせて比較することで，本研究で示されたデータの適用範囲や，世界トップスプリンターと比較した日本人学生スプリンターの特徴をより明確に示すことができると考えられる。

(2) 日本人学生スプリンターにおけるステップタイプの分類基準

そこで研究課題 1 で分析した 59 名の日本人学生スプリンターと，世界トップスプリンターのピッチおよびストライドの分布を検証し，日本人学生スプリンターのステップタイプを判断する際の基準値，日本人学生スプリンターに対する世界トップスプリンターのステップタイプの特徴を検討した。なお，世界トップスプリンターのデータは，1991 年世界選手権の 100m レースの分析（阿江ほか，1994；小林 1990）と，2009 年世界選手権の 100m レース分析のデータ（Hommel et al.，2009）をもとにして，40－60m 区間の平均ピッチおよび平均ストライドを算出した（ $n=17$ ，Hommel et al.（2009）の報告が 20m 区間毎の平均値を算出していたため，研究課題 1 と同じ区間を含む 40－60m 区間の平均値を用いた）。

Fig. 7-1 は，研究課題 1 で分析した男子学生スプリンターの 30－60m 区間，世界トップスプリンターの 40－60m 区間の平均ピッチとストライドをプロットした散布図である。図

中の破線は SF-type, 灰色の実線は SL-type 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). また黒い実線は, 59 名の学生スプリンターの 30–60m 区間の平均速度の平均値 (100m ゴールタイムの平均値: 10.83 ± 0.23 秒) と, 世界選手権 100m 決勝進出者 17 名の 40–60m 区間の平均速度の平均値 (100m ゴールタイムの平均値: 9.91 ± 0.13 秒) を示している. Table 7-1 には, 学生スプリンターの各ステップタイプと, 世界トップスプリンターにおける 100m 走タイムの平均値, 30–60m 区間のピッチ・ストライド比, 100m に要した総歩数, 0–100m のピッチ・ストライド比, 身長 の 95%信頼区間を示した. ピッチ・ストライド比が高い値ほど SF-type, 逆に低い値ほど SL-type の特徴を示しているため, 分析対象範囲内の記録を有するスプリンター (10.37–11.28 秒) においては, ピッチ・ストライド比が 2.39 以上の場合は SF-type, 2.09 以下の場合は 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.

世界トップスプリンターのピッチおよびストライドの分布を検討したところ, 日本人学生スプリンターにおける SL-type と同じ分布域, またはそれよりもさらにストライドの優位性が高い分布域にプロットされ, SF-type の分布域に位置するスプリンターは認められなかった. その背景には, Table 7-1 に示したように, 世界トップスプリンターは日本人学生スプリンターに比べて身長が極めて高いことが影響していると思われる. しかし, 本節で調査した世界トップスプリンターの中には, 日本人学生スプリンターにおける Mid-type や SL-type と同程度の身長を示す選手が存在する. 例えば, Dennis Mitchell (アメリカ, 100m 自己ベスト: 9.91 秒, 身長: 1.75m), Frank Fredericks (ナミビア, 100m 自己ベスト: 9.86 秒, 身長: 1.78m), Raymond Stewart (ジャマイカ, 100m 自己ベスト: 9.96 秒, 身長: 1.78m),

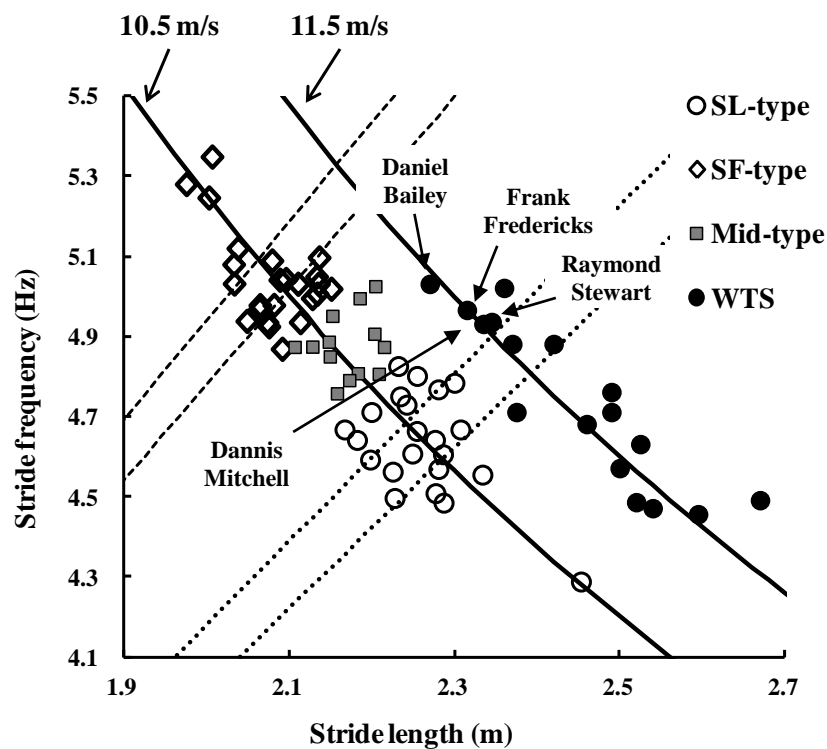


Fig.7-1 Step-type distribution map seen from the relationships among step variables (stride frequency, stride length and the ratio of stride frequency and length: RFL) in 30 – 60 m (40 – 60 m) section.

Solid line represents the value of 95% confidence interval of RFL in SL-type's subjects.
Dash line represents the value of 95% confidence interval of RFL in SF-type's subjects.
WTS: World top sprinters (n = 17)

Table 7-1 The value of 95% confidence interval in 100m time, ratio of SF / SL for 30-60m, steps for 100-m, ratio of SF /SL and body height among step-types and WTS (World top sprints).

	SF-type	Mid-type	SL-type	WTS
100m time (s)	10.84±0.20	10.77±0.23	10.85±0.28	9.91±0.13
Ratio SF/SLfor 30 – 60m	2.47 – 2.39	2.27 – 2.22	2.09 – 2.01	2.03 – 1.86
Steps for 100-m (steps)	52.2 – 51.2	50.4 – 49.2	48.3 – 47.1	45.3 – 43.5
Ratio SF/SLfor 100-m	2.51 – 2.42	2.32 - 2.25	2.15 – 2.06	2.08 – 1.91
Body height (m)	1.70 – 1.72	1.72 – 1.75	1.76 – 1.80	1.80 – 1.86

Daniel Bailey（アンティグア・バーブーダ，100m 自己ベスト：9.91 秒，身長：1.79m）は，SL-type とほぼ同程度の身長でありながら，40 – 60m 区間のピッチが 4.93 – 5.03Hz で，ストライドが 2.27 – 2.36m を示すスプリンターである．したがって，今後は，世界トップスプリンターの 100m レース中におけるピッチとストライドに関するデータ収集を行い，日本人スプリンターと近いステップタイプの世界トップスプリンターが，180cm 前後の高身長でありながら 5.0Hz の極めて高いピッチで疾走できる要因の検討や，ジュニア期からシニア期で実施してきたトレーニング内容の検討，100m を専門種目とするまでのスポーツ経験といった競技発達過程に関する調査を行うことで，日本人 100m スプリンターを育成していくためのヒントを得られる可能性がある．

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 – 60m 区間のピッチ・ストライド比を用いたが，実践現場で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，100m 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．なぜなら，30 – 60m 区間と 0 – 100m 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ており（ $r=0.98, p<0.05$ ），カメラが 1 台あれば 100m 全体に要した歩数を算出できるためである．SF-type と SL-type の 0 – 100m 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，100m 全体の歩数からピッチ・ストライド比を算出した場合，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判断できる．これを 100m に要した総歩数に換算すると，51 歩以上が SF-type，49 – 50 歩が Mid-type，48 歩以下が SL-type として判断できると考えられる．したがって，実践現場においては，100m に要した総歩数に着目すること

で、大学生日本人スプリンターのステップタイプを簡易的に判断することができる。

2. ステップタイプに応じた加速局面の走速度向上に影響する要因

(1) ピッチおよびストライドの動態について

研究課題 1 では、より高い走速度を獲得するためのステップタイプに応じた加速技術を明らかにするため、ステップタイプ毎に最大走速度の異なるスプリンター間の加速局面におけるピッチとストライドの動態を比較した。2000 年以降、高速度カメラの小型化やレーザー速度測定器などの分析技術の発展により、スタートから最大走速度に到るまでの 1 歩毎の分析が行われるようになってきている (Debaere et al., 2013 ; 金高ほか, 2005 ; Morin et al., 2012 ; Nagahara et al., 2014a ; Nagahara et al., 2014 b)。しかし、100m レース中における加速局面のピッチ、ストライドを 1 歩毎に検証し、パフォーマンス水準の異なるスプリンターの比較を行った研究は、金高ほか (2005) のみである。また金高ほか (2005) では、レーザー速度計測器によって 1 歩毎のストライドを算出しているが、レース中の 1 歩毎のストライドを計測できる手法の中で、レーザー速度計測器より分析精度が高い 2 次元 DLT 法を用いてストライドを算出した研究はこれまでに行われていなかった。そこで、本研究では 100m レース中のピッチ、ストライドの 1 歩毎の動態を 2 次元 DLT 法により詳細に検討し、ステップタイプ毎に最大走速度が高いスプリンターの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。

その結果、最大走速度が高いスプリンターは、SF-type では 7 歩目 (約 10m) 以降のピッチが高く、SL-type では 7 歩目以降のストライドが大きかった。どちらのステップタイプに

においても、初期加速後に最大走速度まで速度が緩やかに増加していくトランジション局面（Debaera et al., 2013 ; Delecluse et al., 1995）において、ピッチとストライドに明確な差が認められた。すなわち、トランジション局面において、SF-type ではストライドを低下させずに高いピッチで疾走すること, SL-type ではピッチを低下させずに大きなストライドで疾走することが、最大走速度の高さに影響する加速技術であることが示唆され、この加速技術はステップタイプによって異なることが示された。

これまでの世界トップスプリンターと日本人スプリンターのピッチおよびストライドを比較した研究では、ピッチに差が認められず、ストライドに大きな差が認められている（阿江ほか, 1994 ; 太田・有川, 1999 ; 矢田ほか, 2011）。そのため、日本人スプリンターはストライドを大きくすることで世界トップスプリンターに近づけると主張されることが多かった。しかし、本研究の結果は極端に異なるパフォーマンスレベル間の差や人種間の差を示した上記の研究結果（阿江ほか, 1994 ; 太田・有川, 1999 ; 矢田ほか, 2011）とは異なり、走速度の違いを生み出す要因がストライドの差のみで説明できないことを示している。

宮代ほか（2013）は、122 名のスプリンターを対象として、100m 走における 30 – 60m 区間の平均ピッチと平均ストライドを検討し、身長別に目標タイムを達成するための 30 – 60m 区間のピッチとストライドの目標値を示している。例えば、100m 走で 10.00 秒を達成するためには、身長が 170cm の場合、平均ストライドは 2.23m, 平均ピッチは 5.11Hz が目標値となるが、身長が 180cm の場合、平均ストライドは 2.37m, 平均ピッチは 4.81Hz が目標値となる。すなわち、同じタイムを達成するために最大速度局面で求められるピッチと

ストライドの大きさは、身長によって異なることを示している。本研究と宮代ほか(2012)の結果を踏まえると、走速度を増加させるために、ピッチまたはストライドのどちらを優先的に増加させるのかを判断する場合、スプリンターの身体的特徴やステップタイプを考慮することが重要であることを示唆している。

(2) 走動作について

研究課題 1 の結果から、100m 走の加速局面に対する指導においては、約 10m 地点から最大走速度に到達するまでのトランジション局面(Deabare et al., 2013; Delecluse et al., 1995)のピッチまたはストライドに着目する必要性が示された。このトランジション局面のスプリントパフォーマンス向上に影響する要因を検討するため、研究課題 3 では 10-20m 区間の走動作の縦断的变化過程に着目し、走速度の増加に関係する走動作の変化を検討した。

研究課題 1 の結果から、いずれのステップタイプにおいても、最大走速度が高いスプリンターは、トランジション局面から最大走速度に到達するまでの支持時間が短いことが認められたが、研究課題 3 においても同様に、15m 地点の走速度の増加には、支持時間の短縮が関係していることが認められ、その結果としてピッチが増加したスプリンターは走速度が向上していた。一方、滞空時間については、研究課題 1 の最大走速度が異なるスプリンター間で有意差が認められたのは、SL-type の 8・9 歩目のみで、SF-type では差が認められなかった。また研究課題 3 においても、ピッチやストライドの変化と滞空時間の変化には関係性が認められなかった。したがって、トランジション局面における支持時間の

減少は、スプリントパフォーマンス向上に対する必要条件であるが、滞空時間の増減はプリンターによって異なる変化を示すと考えられる。

研究課題3にて、ピッチおよび支持時間の変化率と、走動作の変化率の関係を検討したところ、支持期後半での膝関節および足関節の伸展動作が小さくなること、支持期で大腿部と下腿部がより素早く前方回転するようになること、離地後に下腿部が後方へ回転する動作が抑えられ、回復脚の大腿部がより素早く前方へ引き付けられるようになること、回復脚の足部が背屈位に変化することが、ピッチの増加と支持時間の減少に関係することが認められた。また、身体重心の近くに接地するようになること、大腿部が垂直位に近い姿勢で接地するようになることが、支持時間の減少と関係していた。

VI章にて、すでに述べたとおり、これらのピッチやストライドの変化率と関係性が認められた走動作の変化は、最大速度局面における走速度や支持時間の間にも関係性が認められている走動作（阿江，2001；伊藤ほか，1998；Kunz and Kaufmann，1981）であった。トランジション局面に相当する10–30m付近の走速度は、最大走速度に対する比率で表すと、10–20mでは85%、20–30mでは95%を示し、10–30m区間は加速局面でありながら、最大走速度に極めて近い走速度で疾走することが要求される局面である。また Nagahara et al.，(2014 b)は、スタートから4歩目までは、体幹部の前傾姿勢を保ちながら重心の後方へ接地し、支持期における股関節と膝関節の伸展動作によって急激に加速していくが、4歩目から14歩目前後までの局面では、体幹部が直立に近づいていきながら重心の前方へ接地するようになり、支持期では膝関節の屈曲と伸展動作が生じ、8歩目以降では支持期の膝関節伸展角速度が定常状態になることを報告している。最大速度局面では、重心の前

方へ足部を接地し、支持期後半での膝関節の伸展動作が小さくなること（森丘ほか，1997）を踏まえると，7－8 歩目以降に相当するトランジション局面では，重心を前方へ急激に推し進めていく走動作から，全速疾走の走動作へと移行していく技術が重要となる．そのため，最大速度局面で高い速度で疾走するために重要であると指摘されてきた走動作（重心近くへの接地，膝関節と足関節の伸展動作が小さいキック動作，支持期における下腿部の素早い前方回転，大腿部が前方へ素早く引き付けられるスイング動作，回復期における足関節の背屈）へ変化することが，トランジション局面の走速度向上に影響すると考えられる．

3. スプリントパフォーマンスの変化に伴う 100m レース中のピッチとストライドの変動

研究課題 1 の結果から，スプリンターはピッチ型，ストライド型，中間型の 3 つのステップタイプに分類されることが示され，そして研究課題 2 の結果から，下肢のプロポーションと，加速局面および最大速度局面の走動作の違いがステップタイプの分類に影響することが示された．学生スプリンターでは，身長や下肢長の発達がほぼ停まっていることを考慮すれば，ステップタイプのタイプ移行もほとんど生じないことが推測される．しかし，ピッチとストライドには相互関係が存在するため（Hunter et al. , 2004），個人のスプリントパフォーマンスが向上する過程では，ピッチとストライドの増減が繰り返され，ステップタイプの指標として用いたピッチ・ストライド比も，個人内では常に変化を繰り返し，ステップタイプのタイプ移行が生じる可能性がある．この可能性を検証するため，100m 走を専門とする 8 名のスプリンターを対象として，100m レースの最大速度局面（30－60m）

と 100m 全体のピッチとストライドを調べ、100m 走パフォーマンスの変化に伴うピッチとストライドの変動と、個人内におけるステップタイプのタイプ移行について検討した。

学生スプリンター8名を対象として、2012年4月から2013年8月の約1年半にわたる100m レース中の30–60m 区間のピッチ・ストライド比と、0–100m 区間の平均ピッチと平均ストライドの変動を検討した。100m レースのパフォーマンスとの関連性を検討するため、個人内における100m 全体の平均速度が高い順にデータを序列化し、100m 走パフォーマンス向上モデルとして仮定した。Table 7-2 には、分析対象者8名の100m 走自己ベスト記録、分析を行ったレースの本数、分析したレースの100m 走タイムの平均値、身長、体重を示した。

Fig.7-2 は、分析を行った期間の間に100m 走の自己ベスト記録を更新した、2名の被検者におけるレースタイムの達成率（2011年の最高記録に対する割合）と、30–60m 区間のピッチ・ストライド比の変化を示したものである。この結果から、ピッチ・ストライド比は、シーズン中であっても増減を繰り返していることが分かる。Fig.7-3 は、各被検者の100m 走全体の平均ピッチと平均ストライドを、100m 全体の平均走速度が高い順に序列化し、ピッチとストライドの個人内変動を示したものである。図中の各種破線は、各ステップタイプにおける100m 全体のピッチ・ストライド比の95%信頼区間（研究課題1）を示している。全ての被検者において、走速度が高い値を示すにしがたい、平均ピッチと平均ストライドは一方向へ変化するのではなく、ピッチとストライドの増減が繰り返されていることが分かる。また、各ステップタイプの95%信頼区間を基準に、ステップタイプのタイプ移行を検討すると、SF-type と Mid-type 間、SL-type と Mid-type 間のタイプ移行を示す被検

Table 7-2 Characteristics of each athlete.

Subject	100m Personal Best time (s)	No. of races	Mean time (s)	Height (m)	Weight (kg)
MS	10.55	12	10.66±0.08	1.69	67.6
KS	10.45	12	10.74±0.27	1.72	69.2
NT	10.58	12	10.74±0.13	1.73	74.3
ST	10.76	10	11.02±0.10	1.75	72.4
NY	10.78	12	11.10±0.17	1.78	73.4
SS	10.85	13	11.27±0.26	1.77	65.9
DK	11.25	10	11.54±1.09	1.71	61.8
Ss	11.13	12	11.56±0.19	1.75	65.9

者は認められるが、SF-type と SL-type 間のタイプ移行を示す被検者は認められない。これらの結果から、個人内では 100m 走パフォーマンスの変化に伴って、Mid-type を介した一時的なタイプ移行が生じるものの、試合期では SF-type と SL-type 間の大きなステップタイプの移行が生じない範囲でピッチとストライドは増減を繰り返しながら全体的に右肩上がりに変化し、走速度が向上していくことが示唆された。

中田ほか（2003）は、100m 走パフォーマンスと走動作の変化を検討した結果、走速度の増加に対して、ピッチとストライドの両方の増加が認められた者、ストライドの増加が認められた者、ピッチの増加が認められた者といった多様な変化パターンが示されたことを報告している。また、より高い走速度は各スプリンターの最適なピッチとストライドの比率によって達成される（Donati, 1995 ; Kunz and Kaufmann, 1981 ; Schiffer, 2009）ことが指摘されている。これらの先行研究の結果を踏まえると、ピッチとストライドは各スプリンターにおける一定の範囲内で増減を繰り返しながら、走速度は変化していくと考えられる。学生スプリンター以上の発達段階では、極端なステップタイプのタイプ移行が生じない範囲の中で、ピッチ・ストライドは増減を繰り返しながらスプリントパフォーマンスは向上していくという知見は、世界トップで戦うためのスプリンターの育成やトレーニング方法を考える際の新たな観点を示唆している。すなわち、これまではスプリンターの形態的特徴やステップタイプを考慮せず、世界選手権の 100m レース決勝進出者のデータと日本人のデータが比較され、日本人スプリンターが 100m 走タイムを向上させるための知見が示されてきた（阿江ほか, 1994 ; 松尾ほか, 2010 ; 太田・有川, 1999）。しかし世界トップスプリンターの中には、Usain Bolt のような身長が大きく、極めてストライドの優位

性が高いスプリンターが含まれている場合が多く、そのようなスプリンターから得られたデータは、日本人スプリンターの 100m 走パフォーマンス向上のためのモデルとして適切ではない可能性がある。学生水準以上のスプリンターでは、ステップタイプのタイプ移行が生じないことを踏まえると、日本人学生スプリンターと類似する Mid-type や SL-type の領域に位置する世界トップスプリンターをモデルとしながら、形態、筋力・パワー発揮能力、走動作、トレーニング内容、競技発達過程に関わるデータを収集し、トレーニングモデルとなるデータを検討していくことが、9 秒台後半から 10.0 秒台の記録で世界と戦っていく選手を育成するための重要な観点を提供する可能性がある。

本節で検討したデータには二つの課題が残っている。一つは、100m 走パフォーマンスが高い順に序列化し、1 年半の期間における個人内のピッチとストライドの変動を検討したため、これらの結果は時系列的な変化を示していない。したがって、大学 4 年間の期間や、大学から社会人で引退するまでといった長期間を分析対象として、年次ベストを記録した際のピッチおよびストライドの変動に関するデータを集計し直し、競技発達過程におけるピッチとストライドの変化を検討することが必要であろう。二つ目は、ピッチとストライドの変動に影響した要因が明らかになっていないことである。例えば、ピッチとストライドの変動が、スプリンターの意図的な操作によるものであるのか、取り組んできたトレーニング内容の影響であるのか、そして技術的要因また体力的要因の変化などの諸要因が影響したのかは明らかでない。今後は、個人内におけるピッチとストライドの変動と、体力的・技術的要因、トレーニング内容との関連を検討することで、ピッチとストライドを効果的に増加させていくためのトレーニング方法論を明らかにすることが必要であろう。

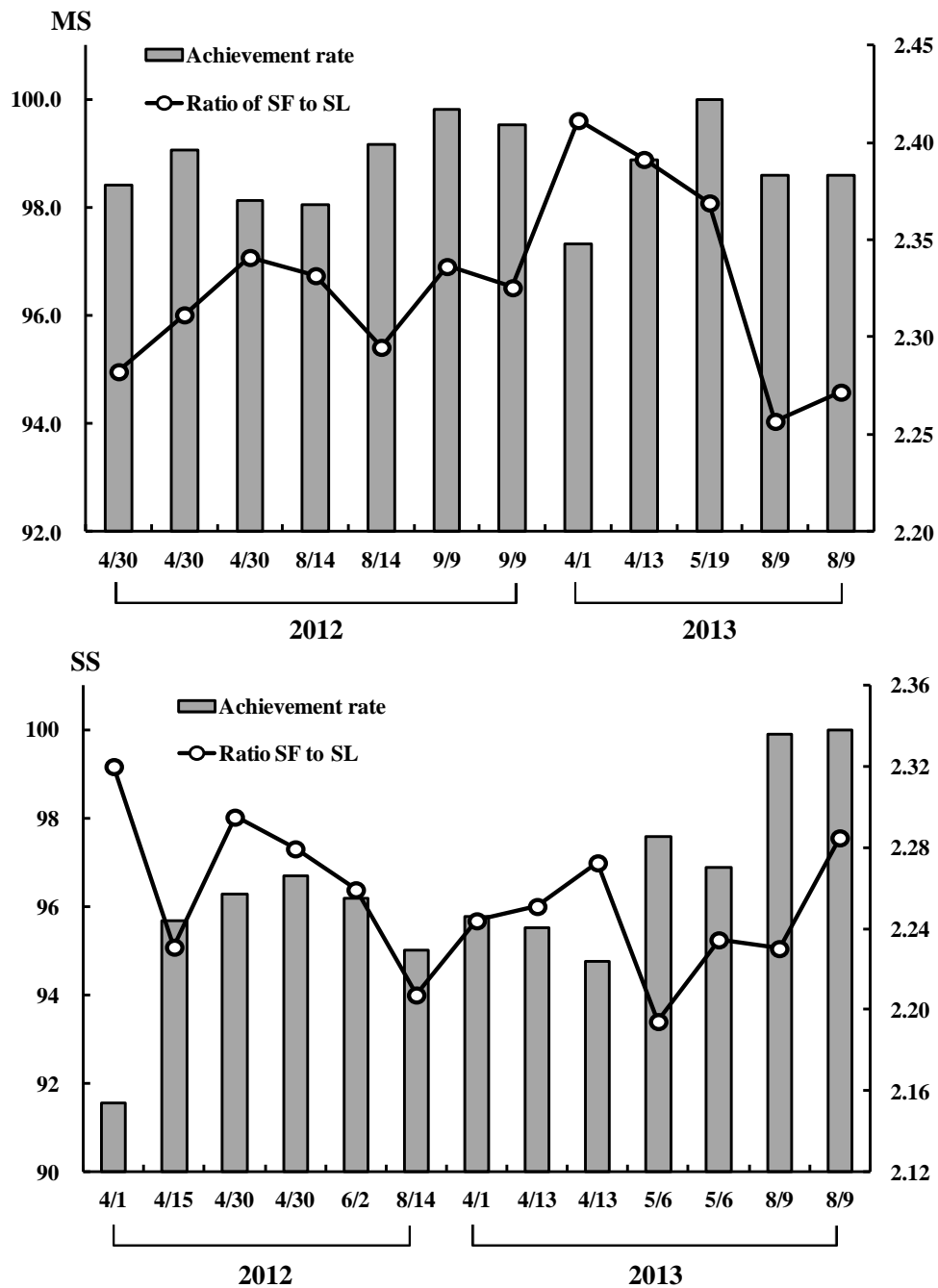


Fig.7-2 Change of the 100-m race performance and the ratio of stride frequency and stride length in 30 – 60m.

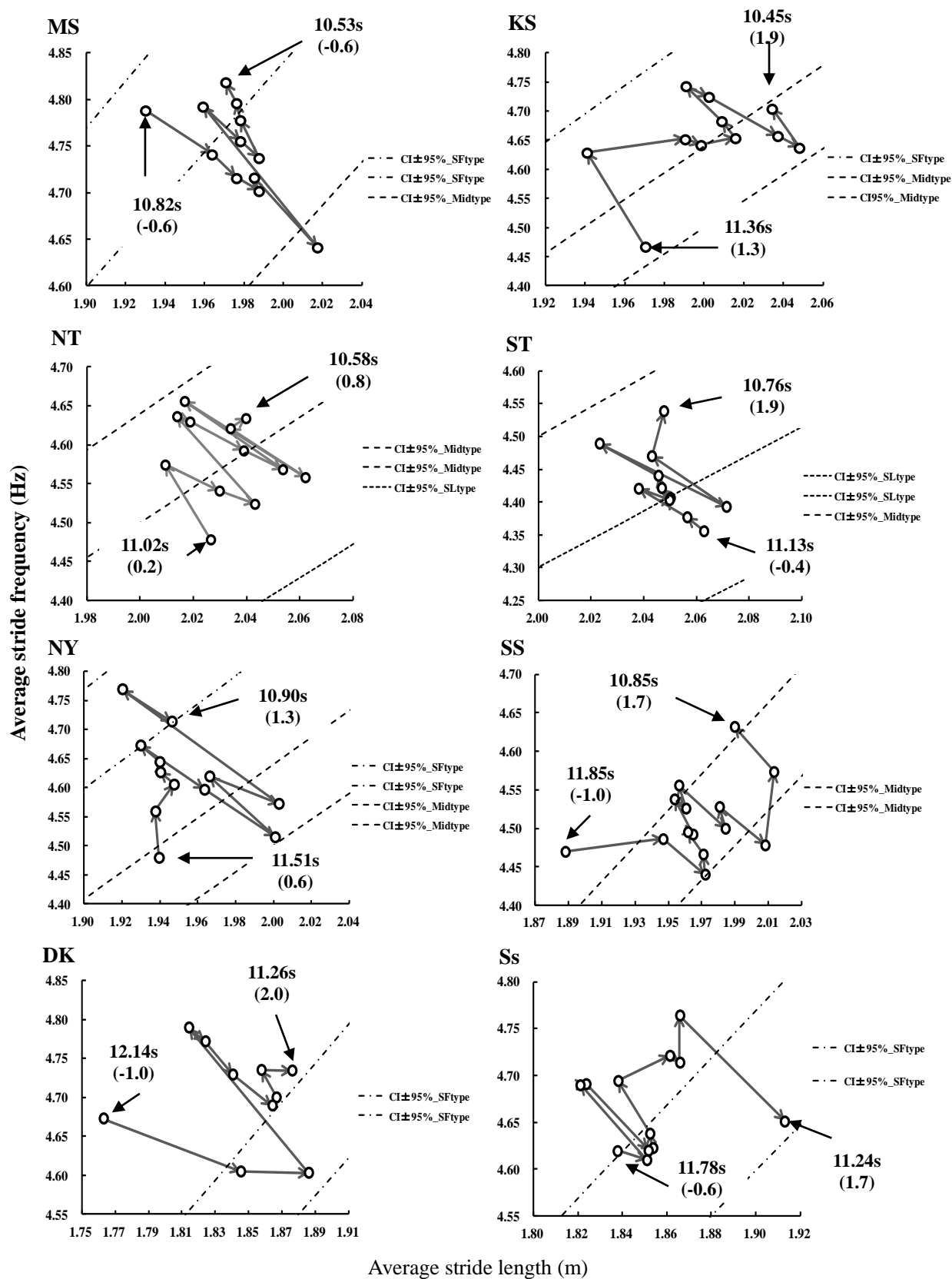


Fig.7-3 Change of the stride frequency and stride length in 0 – 100m.
CI: Confidence interval

4. ステップタイプに応じた加速局面の指導に対する着眼点

(1) ステップタイプに応じた指導の留意点

ここまでの本章 1・2・3 節の考察をもとに，100m 走の記録が 11.1 秒前後の学生スプリンターが，10.6 秒前後の記録へとパフォーマンスを向上させることを目的とした，ステップタイプに応じた加速局面に対する指導の実践的示唆を示す．

研究課題 1 と 2 の結果より，滞空時間がステップタイプを特徴づける主要因であることが明らかになった．つまり，ステップタイプに応じた指導を実践する場合，スプリンターの滞空時間を考慮することが重要な観点の一つであると推察される．研究課題 3 の結果から，スプリントパフォーマンスの向上と滞空時間の変化との間には関係性がないこと，先行研究においても，世界トップスプリンターと学生スプリンター間では滞空時間に差が認められないこと（矢田ほか，2011；矢田ほか，2012），最大走速度と滞空時間の間には関係性が認められないこと（Weyand et al., 2000）が明らかになっており，滞空時間の増減が走速度を増加させるための必要条件にはならないと考えられる．以上のことから，各スプリンターがもつ固有の滞空時間を極端に変化させずにスプリントパフォーマンスを高める視点をもつことが，ステップタイプを考慮した指導では重要であろう．

SF-type のスプリンターは，支持期に下腿部が素早く前方回転することで膝関節の伸展動作が小さいことに加え，回復期における大腿部の動作範囲が狭く，スイング時間と滞空時間が短い走動作を示す．したがって，SF-type は高いピッチで疾走することに優れる一方で，大きなストライドで疾走することに劣る特徴をもつ．また SF-type は，下肢長が短く，下

肢全体の慣性モーメントが小さいことにより、下肢を前方へ回復するための長い滞空時間を確保しなくても、疾走することができる。これらの SF-type の特徴と研究課題 1・3 の結果を踏まえると、SF-type が走速度を向上させるためには、ストライドの低下を最小限に抑えながら、支持時間の短縮によってピッチが増加する変化を導いていくことが有効である。これを達成するためには、短い支持時間で水平方向に力を発揮する能力を高めることで、離地時の水平速度を増加させ、滞空時間を延長させなくても滞空距離が増加するような変化を導くことが求められるであろう。さらに、SF-type の滞空時間が短いという特徴を考慮すると、加速局面で滞空時間が大きく延長するような走動作によって、ピッチが減少し（土江ほか, 2010）、ストライドが過剰に大きくなることによる走速度の低下に留意する必要があると考えられる。

一方、SL-type のスプリンターは、支持期における下腿部の前方回転が遅いことで、膝関節の伸展動作が大きいことに加え、回復期における大腿部の動作範囲が大きいため、スイング時間と滞空時間が長い走動作を示す。そのため、高いピッチで疾走することに劣るが、大きなストライドで疾走することに優れる特徴をもつ。SL-type は SF-type とは対照的に、下肢長が長く、下肢全体の慣性モーメントが大きいことにより、下肢を前方へ回復するためには、SF-type よりも長い滞空時間を確保しながら疾走することが求められる。これらの SL-type の特徴と研究課題 1・3 の結果を踏まえると、SL-type が走速度を向上させるためには、支持時間を短縮することでピッチの低下を最小限に抑え、下肢を前方まで回復するために必要な最低限の滞空時間（Hunter et al., 2005）を確保しながら、ストライドが増加する変化を導いていくことが有効であろう。したがって、SF-type とは異なり、SL-type の場

合、滞空時間が支持期における鉛直方向の力積に依存すること（Weyand et al., 2000 ; Dorn et al., 2012）を考慮し、短い支持時間でも、鉛直方向へ力を発揮する能力が求められると推察される。なお、SL-type の滞空時間が長いという特徴を考慮すると、ピッチを高めることを強調することで滞空時間が極端に短縮し、ストライドが減少することによる走速度の低下に留意する必要があるだろう。

ここまでの議論から、滞空時間がステップタイプを特徴づける要因であり、滞空時間の調節がステップタイプに応じた指導における重要な観点であること、そして支持時間の短縮は、どちらのステップタイプにおいてもスプリントパフォーマンスの向上に重要な要因であることを指摘してきた（研究課題 1・3）。これら滞空時間と支持時間の変化に関して、実践現場の観点からリズムと主観的努力度に着目し、どのような指導を行っていくことが有効であるのかを以下に提案する。

(2) ステップタイプに応じた指導に対する実践的示唆

上述した滞空時間および支持時間を指導現場での表現に置き換えると、「リズム」として捉えることができる（宮丸, 1976 ; 村木・宮川, 1973）。スプリントやハードルの指導では、ピッチやストライド、支持時間や滞空時間を変化させる際に、オノマトペを用いた言語表現によって指導を行うことが多い。例えば「タッタッタッ」、「パッパッパッ」、「グイグイ」、「クックックッ」、「ググググッ」、「サッサッサッ」、「トントントン」、「ポンッポンッ」といった言語表現が指導書にも記載されており（宮丸, 1976 ; 谷川, 2012 ; 土江, 2011）、これらの表現は動きの質的变化を導く場合に役立っている。また、加速局面における走速

度、ピッチ、ストライド、支持時間、滞空時間は競技者自身の主観的努力度を調節することによって変化させることができる（伊藤ほか，2001）．伊藤ほか（2001）は，全力疾走を主観的努力度 100%とし，努力度 90%，80%，70%，60%の時の加速局面における 1 歩毎の走速度，ピッチ，ストライドの変化を検討している．その結果，スタート直後の数歩では，努力度の低下に伴いピッチ優勢からストライド優勢の疾走パターンへと変化すること，努力度 90%と 100%時を比較すると，どちらも走速度はほぼ同程度であるにも関わらず，努力度 90%の方がストライド優勢で，滞空時間が有意に長い疾走であることを報告している．また，努力度 80%では，努力度 90%時の走速度，ピッチ，ストライドと差はないが，支持時間が有意に長くなることを指摘している．すなわち，努力度を変化させることで，加速局面における支持時間と滞空時間からみた走運動のリズムを変化させることができ，スプリンターのステップタイプを考慮した上で，主観的努力度の調節やリズム表現を用いることが望ましいと考えられる．

ところで，支持時間の短縮がスプリントパフォーマンス向上に対して重要な要因であることを指摘したが，速く走れるようになれば，支持期中に足部上を通過する重心の水平速度が高くなるため，支持時間は短くならざるを得ない（Hunter et al.，2004，2005；小林ほか，2009）．つまり，単に支持時間の短縮を意識したとしても，スプリントパフォーマンスが向上しない可能性があることを意味している．走速度は支持期中の力積の大きさによって決定されるため，支持時間が短縮したとしても，大きな地面反力を発揮できなければ走速度は向上しない．したがって，実践では技術的要因だけでなく，体力的要因の向上を図ることも重要であり，走速度の向上によって支持時間が短縮した中でも，接地中に水平お

よび鉛直方向へ大きな地面反力を作用させる能力 (Hunter et al., 2004 ; 土江ほか, 2010) を高めることは, いずれのステップタイプにおいても考慮することが求められる. しかし, 本研究では地面反力の測定を行っていないため, スプリント中の力発揮については推測の域を脱しない. したがって, 今後は水平および鉛直方向への地面反力に関するデータの収集を行っていき, スプリントパフォーマンスの変化との関係, 短い支持時間でも水平方向へ大きな地面反力を発揮できる走動作や筋力・パワー発揮などの技術・体力的要因, それを可能にするトレーニングなどを検討していく必要がある.

5. 今後の課題

本研究では, 最大速度局面のピッチ・ストライド比を用いて, スプリンターをステップタイプに分類し, 加速局面におけるスプリントパフォーマンスの特徴に着目しながら, スプリントパフォーマンスを向上させるための指導上の着眼点を提示してきた. しかし, 本研究では日本人学生スプリンターが分析対象となっていること, 縦断的变化を検討した期間が半年および1年半程度であること, 走動作の検討が二次元分析のみであることなどから, スプリンターのステップタイプを考慮した指導の体系化に向けて, 今後, さらに検討すべき課題がある.

(1) 分析対象者のスプリントパフォーマンスの範囲

研究課題1では, 100m 走タイムが 10.37 – 11.28 秒の記録範囲にある日本人学生スプリンターを分析対象とし, 30 – 60m 区間のピッチ・ストライド比を変数としたクラスター分析によってステップタイプを分類した. Fig.7-1 に示したように, 本研究の分析対象記録の範

圏外である 9 秒台や 10.0 秒台のスプリンターは、形態、体力的特徴が日本人学生スプリンターと異なるため、本研究で示された知見が適用できない可能性がある。したがって、今後は分析対象者のパフォーマンス水準の範囲を拡大し、国際的なトップスプリンターを含めたステップタイプの分類を行い、本研究で示されたステップタイプとの比較による再検討が必要である。

(2) 縦断的变化の分析期間

本研究では、専門的準備期（3 月）から試合期（7 月）にかけての加速局面におけるスプリントパフォーマンスの縦断的变化と、1 年半にわたる 100m レース中のピッチとストライドの変動を検討した。しかし、より長期的な期間におけるスプリントパフォーマンスの縦断的变化を検討することができれば、スプリンターの競技発達過程について更なる知見を提供できる可能性がある。例えば、ある年の専門的準備期（3 月）と、1 年後の同時期におけるスプリントパフォーマンスの縦断的变化や、専門的準備期から試合期で実施したトレーニング内容との関連性を検討することによって、より実践的な 100m 走パフォーマンス向上に対する知見を提供できるであろう。また、本研究では大学生のスプリンターを分析対象としたが、ジュニア期や大学卒業後のシニア期以降におけるピッチ・ストライドの変動過程を検討できれば、競技者の発達段階に応じたスプリントパフォーマンスの向上に関する指針を提示できる可能性がある。

(3) 走動作の 3 次元分析

本研究では、走運動における身体各部位の運動が矢状面内で行われる（山田ほか, 1986）と仮定し、2 次元動作分析を行った。その理由としては、過去に行われてきたスプリントに関する研究のほとんどが 2 次元動作分析によって行われていること、本研究ではスタートから最大走速度に到るまでを分析したため、2 次元分析でも十分に走動作を捉えられると考えたからである。しかし、疾走中には肩と腰の回旋動作が生じる（松尾, 2006；山田ほか, 1986）こと、また 2010 年以降では、3 次元モーションキャプチャ装置を用いたスタート動作の 3 次元動作分析（Debaere et al., 2012；Slawinski et al., 2010）が盛んに行われている。したがって、今後は肩や腰のねじれ（山田ほか, 1986）、骨盤の回旋動作（松尾, 2006）といった 3 次元動作分析と、ピッチおよびストライドの関係性を検討することで、これまでの 2 次元動作分析では明らかにされていない走動作の知見を収集することが必要であろう。

(4) トレーニング介入によるスプリントパフォーマンスの縦断的变化

本研究では、トレーニング介入による加速局面のスプリントパフォーマンスの縦断的变化を検討することができていない。加速局面のスプリントパフォーマンスの向上を目的としたトレーニング介入による研究は、スレッド走といったレジスタンストレーニングによる効果を検討したものが多い（Cronin and Hansen, 2006；Cronin et al., 2008；Kawamori et al., 2014；Letzelter et al., 1995；Zafeiridis et al., 2005）。これらの研究は、球技系競技に求められる 10m 程度の極めて短い距離での高い加速度を獲得することを目的としている

ため、技術的側面より体力的側面（下肢筋群の力発揮能力）に焦点を当てたものである。

したがって、100m 走のような走速度を急激に立ちあげたのちに、さらに最大走速度まで速度を上昇させるという専門的な加速能力の改善を目的としたトレーニング研究は行われていない。研究課題 1 にて、100m 走においてより高い最大走速度に到達するためには、スタート後 10m 以降のトランジション局面で、ピッチまたはストライドが高められるようになることが重要であることが示唆されている。この改善を導く可能性があるトレーニング手段として、短距離走のトレーニングではマーク走（規定の歩幅になるように目印を置き、意図的にストライドを制限するトレーニング手段）が実施されている（Korchemny, 1994）。しかし、このトレーニング手段の実施が、100m 走パフォーマンスの向上に及ぼす影響を検討した実践研究は行われていない。今後、トレーニング効果の検証を行うことで、実践的な知見を提示できると考えられる。

VIII. 結論

本研究の目的は、日本人学生スプリンターにおけるステップタイプの分類と、それに影響する要因を明らかにすること、そして 100m 走パフォーマンス向上のための加速局面における走技術をステップタイプ別に明らかにすることで、ステップタイプに応じた 100m 走の加速局面に対する指導の着眼点を提示することであった。その結果、得られた結論は以下の通りである。

1) 日本人学生スプリンターは、SL-type, SF-type, Mid-type の 3 つのステップタイプに分類され、最大速度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。そしてステップタイプの違いには、身長、下肢長、下腿長の絶対長に関する形態的要因と、回復期だけでなく支持期の走動作に関する技術的要因が影響していることが明らかになった。最大速度局面では離地時の鉛直速度が、加速局面では離地時の身体重心高が滞空時間に影響することで、ステップタイプの違いが生じていた。また、各ステップタイプを判断する際の基準値を、30 – 60m 区間のピッチ・ストライド比と 100m 全体の総歩数で示すと、SL-type は 2.10 – 2.09 と 47.1 – 48.3 歩、SF-type は 2.39 – 2.47 と 51.2 – 52.2 歩、Mid-type は 2.22 – 2.27 と 49.2 – 50.4 歩であることが示された。

2) 最大走速度が高いスプリンターの加速局面のスプリントパフォーマンスの特徴を検討した結果、SL-type では 7 歩目以降（約 10m）のストライドが大きく、支持時間が短いことでピッチが極端に低下することなく加速し、SF-type では 7 歩目以降（約 10m）の支持時間

が短いことにより高いピッチで加速していた。そして、スタート後 10m 以降のトランジション局面のスプリントパフォーマンスが、より高い最大走速度を獲得することに影響する可能性が示された。またトランジション局面初期（10 – 20m）では、短い支持時間で疾走できることが、スプリントパフォーマンスを向上させるための要因であることが明らかになった。この支持時間の短縮には、支持期における膝関節と足関節の伸展動作が小さいキック動作、大腿部と下腿部が素早く前方回転するキック動作、回復期における大腿部の素早い前方への引き付け動作が影響することが示された。

3) 試合期では、100m 走パフォーマンスの変化に伴い、ピッチとストライドはどちらかの変数が優位となる変動を絶えず繰り返すことが示された。ピッチとストライドの変動は、Mid-type への一時的なタイプ移行が生じることがあるものの、ステップタイプが大きくタイプ移行しない一定の範囲内で変化を繰り返し、個々のステップタイプが大きく変化する可能性は極めて低いことが明らかになった。

以上の縦横断的研究による結果から、日本人学生スプリンターは 3 つ異なるステップタイプに分類され、身長や下肢長の違いによって支持期および回復期の走動作は異なる特徴を示すこと、加速局面のスプリントパフォーマンス向上に影響する要因について、ステップタイプ別の相違点と共通点が存在することが示された。したがって、本研究の知見は、ステップタイプの特徴を手がかりにした指導の着眼点を明らかにしたものであり、日本人学生スプリンターの 100m 走パフォーマンスを高めるための有益な知見を提供している。

謝辞

本論文の作成にあたり、谷川聡准教授には、研究計画の作成から論文の執筆にいたるまで、終始懇切丁寧な御指導と御校閲を賜りました。また谷川先生には、論文作成だけでなく、競技者のパフォーマンス向上に貢献するための研究の視点をご助言頂くとともに、コーチング学専攻の特色を活かした博士論文作成に関する多大なる御指導を頂きました。ここに心から感謝の意を表します。

図子浩二教授には、博士論文の主査をお引き受け頂き、博士論文の書き方、コーチング・トレーニング分野の研究観の御指導、そして本学位論文で未解決の問題点に対するご指摘を頂きました。本論文の内容を充実させるためのヒントを常に提示して頂いたことに、深く感謝致します。

尾縣貢教授、山田幸雄教授、西嶋尚彦教授、川村卓准教授をはじめとする諸先生方には、論文の構成、実践現場に対するデータ解釈、他競技からみた本研究の価値など、論文全般にわたって貴重な御指導と御助言を頂いたことに厚く御礼申し上げます。

陸上競技方法論研究室、谷川研究室の諸先輩、同輩、後輩の皆様からは、本論文の実験補助に多くのご協力を頂きました。特に、荻山靖氏には修士課程からの研究計画の作成に始まり、本論文の執筆、執筆中の激励にいたるまで、終始懇切丁寧な御指導を頂きました。本当にありがとうございました。

最後に、大学院での学生生活を常に温かく見守り続け、励まし続けてくれた両親に心より感謝します。ありがとう。

2015 年 3 月 内藤 景

参考文献

[A]

阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Japan Journal of Sports Science*, 15 (3) : 155-162.

阿江通良 (2001) スプリントに関するバイオメカニクス的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.

阿江通良・小林育斗 (2011) 動作分析から動作の共通性と個性を考える. *バイオメカニクス研究*, 15 (3) : 88-95.

阿江通良・宮下憲・横井孝志・大木昭一郎・渋川侃二 (1986) 機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度. *筑波大学体育科学系紀要*, 9 : 229-239.

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 -. *世界一流陸上競技者の技術. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編. ベースボールマガジン社: 東京, pp.14-28.*

秋田真介・金高宏文 (2000) 100m 走における最大疾走速度を高めるためのトレーニングの考え方と実践. *コーチングクリニック*, 8 : 26-31.

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.

新井宏昌・渡邊信晃・高本恵美・真鍋芳明・前村公彦・岩井浩一・宮下憲・尾縣貢 (2004) 国内一流女子スプリンターにおけるトレーニング経過にともなう形態的・体力的要因と疾走動作の変化. *体育学研究*, 49 : 335-346.

[B]

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.

Bosch, F., and Klomp, R. (2001) Running techniques. *Running Biomechanics and exercise physiology in practice*. Elsevier Churchill Livingston: Netherlands, pp.119-188.

Bret, C., Rahmani, A., Dufour, A. B., Messonnier, L., and Lacour, J. R. (2002) Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42: 274-281.

[C]

Chelly S. M., and Denis, C. (2001) Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance, *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 33 (2): 326-333.

Coh, M., Milanovic, D., and Kampmiller, T. (2001) Morphologic and kinematic characteristics of elite sprinters. *Coll Antropol*, 25 (2): 605-610.

Cronin, J., and Hansen, K. (2006) Resisted sprint training for the acceleration phase of sprinting. *National Strength and Conditioning Association*, 28 (4): 42-51.

Cronin, J., Hansen, K., Kawamori, N., and McNair P. (2008) Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomechanics*, 7 (2): 160-172.

[D]

Debaere, S., Delecluse, C., Aerenhouts, D., Hagman, F., and Jonkers, I. (2012) From block clearance to sprint running: characteristics underlying an effective transition. *Journal of Sports*

Science, 1-13.

Debaere, S., Jonkers, I., and Delecluse, C. (2013) The contribution of step characteristics to sprint running performance in high-level male and female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27 (1): 116-124.

Delecluse, C. H., Coppinolle 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.

Donati, A. (1995) The development of stride length and stride frequency in sprinting. *New Studies in Athletics*, 10 (1): 51-66.

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.

[E]

遠藤俊典・田内健二・木越清信・尾縣貢（2007）リバウンドジャンプと垂直跳の遂行能力の発達に関する横断的研究．*体育学研究*， 52： 149-159.

[F]

深代千之（2003）走スピードの限界因子．*体育の科学*， 53 (2)： 120-126.

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

[G]

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

[H]

羽田雄一・阿江通良・榎本靖士・法元康二・藤井範久 (2003) 100m 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.

Hay, J. G. (2002) Cycle rate, length, and speed of progression in human locomotion. *Journal of Applied biomechanics*, 18: 257-270.

Hoffmann, K. (1971) Stature, leg length, and stride frequency. *Track Technique*, 46: 1463-1469.

Hommel, H., and the German athletic federation. (2009) Scientific research project biomechanical analyses at the belrin 2009 final report sprint men. <http://www.iaaf.org/about-iaaf/documents/research/#biomechanical-research-projects>. pdf, (accessed 2014-11-30).

保志宏 (1989) 生体計測法. 生体の線計測法. てらぺいあ, 東京 : pp.71-286.

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.

[4]

生田香明・中糖二三生・根木哲朗・播本定彦（1980）スプリンターのパワー発現．体力科学，29：143-151.

稲葉恭子・加藤謙一・宮丸凱史・久野譜也・尾縣貢・狩野豊（2002）女子スプリンターにおける疾走能力の向上に関する事例研究．体育学研究，47：463-472.

伊藤章・斎藤昌久・佐川和則・加藤謙一（1992）ルイス，バレルと日本トップ選手のキック・フォーム．Japanese Journal of Sports Science，11（10）：604-608.

伊藤章・斎藤昌久・佐川和則・加藤謙一・森田正利・小木曾一之（1994 a）世界一流スプリンターの技術分析．世界一流陸上競技者の技術．日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編．ベースボールマガジン社：東京，pp.31-49.

伊藤章・斎藤昌久・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.

伊藤章・市川博啓・斎藤昌久・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.

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 b）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.

岩竹淳・鈴木朋美・中村夏実・小田宏行・永澤健・岩壁達男（2002）陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 47 : 253-361.

岩竹淳・山本正嘉・西薊秀嗣・川原繁樹・北田耕司・図子浩二（2008）思春期後期の生徒における加速および全力疾走能力と各種ジャンプ力および脚筋力との関係. 体育学研究, 53 : 1-10.

[J]

Jacobs, R., and van Ingen Schenau, G. T. (1992) Intermuscular coordination in a sprint push-off. Journal of Biomechanics, 25 (9) : 953-965.

Jeffrey, M., McBride, D. B., Kirby, T. J., Haines, T. L., Dayne, A. M., and Triplett, N. T. (2009) Relationship between maximal squat strength and five, ten, and forty yard sprint times. Journal of Strength and Conditioning Research, 23 (6): 1633-1636.

Johnson, M., and Buckley, J. G. (2001) Muscle power patterns in the mid-acceleration phase of sprinting. Journal of Sports Sciences, 19: 263-272.

[K]

Kale, M., Asci, A., Bayrak, C. and Acikada, C. (2009) Relationships among jump performances and sprint parameters during maximum speed phase in sprinters. Journal of Strength and Conditioning Research, 23 (8) : 2272-2279.

Kawamori, N., Newton, R. U., and Nosaka, K. (2014) Effects of weighted sled towing with heavy versus light load on sprint acceleration ability. Journal of strength conditioning and research, 28

(10): 2738-2745.

貴嶋孝太・福田厚治・伊藤章・堀尚・川端浩一・末松大喜・大宮真一・山田彩・村木有也・

淵本隆文・田邊智（2010）男女短距離選手のスタートダッシュ動作．世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術．日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編．日本陸上競技連盟：東京，pp.24-38.

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）100m 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.

小林海・土江寛裕・松尾彰文・彼末一之・磯繁雄・矢内利政・金久博昭・福永哲夫・川上泰雄（2009）スプリント走の加速局面における一流短距離選手のキネティクスに関する研究．スポーツ科学研究，6：119-130.

小林寛道(1990) 走ることを科学する. 走る科学. 宮下充正監修. 大修館書店, 東京: pp.1-166.

Korchemny, R. (1994) Speed development training menu. Track technique, 129: 4105-4110.

Kugler, F., and Janshen, L. (2010) Body position determines propulsive forces in accelerated running. Journal of Biomechanics, 43: 343-348.

Kukulj, M., Ropret, R., Ugarkovic, D., and Jaric, S. (1999) Anthropometric, strength, and power predictors of sprinting performance. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 39: 120-122.

黒澤茉莉子・藤井範久・阿江通良・横沢俊治（2005）女子 100m 競技者の大学 4 年間における疾走動作改善に関する研究 - 回復脚の動作と動き片の意識との関係を中心に - . 陸上競技学会誌, 3(1) : 1-9.

Kunz, H., and Kaufmann, D. A. (1981) Biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. Brit. Journal of Sports Medicine, 15(3): 177-181.

[L]

Letzelter, M., Sauerwein, G., and Burger, R. (1995) Resistance runs in speed development. Modern Athlete and Coach, 33: 7-12.

Letzelter, S. (2006) The development of velocity and acceleration in sprints - a comparison of elite and juvenile female sprinters - . New Studies of Athletics, 21(3): 15-22.

[M]

Mackala, K. (2007) Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100metres. New Studies in Athletics, 22(2): 7-16.

Mann, R., and Herman, J. (1985) Kinematic analysis of Olympic sprint performance: Men's 200 meters. International Journal of Sport Biomechanics, 1: 151-162.

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）100m 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.

松尾彰文（2006）走動作の骨盤と肩の動き. 体育の科学, 56 (3) : 162-167.

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（2010）100m のレース分析. 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:

東京, pp. 5-17.

- Maulder, P., Bradshaw, E. J., Keogh, J. (2006) Jump kinetic determinants of sprint acceleration performance from starting blocks in male sprinters. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5: 359-366.
- Maulder, P., and Cronin, J. (2005) Horizontal and vertical jump assessment: reliability, symmetry, discriminative and predictive ability. *Physical Therapy in Sport*, 6: 74-82.
- Mero, A., Luhtanen, P., Viitasalo, J. T., and Komi, P. V. (1981) Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand. Journal of Sports Science*, 3 (1): 16-22.
- Mero, A., Luhtanen, P., and Komi, P. V. (1983) A biomechanical study of the sprint start. *Scand. Journal of Sports Science*, 5 (1): 20-28.
- Mero, A., and Komi, P. V. (1986) Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *European Journal of Applied Physiology*, 55: 553-561.
- Mero, A., Komi, P. V., and Gregor, R. J. (1992) Biomechanics of Sprint Running. *Sports Medicine*, 13(6): 376-392.
- 三井孝・岡子浩二（2006）身体の逆振り子運動からみた高齢者歩行における歩幅の獲得要因．*体育学研究*, 51 : 447-457.
- 宮丸凱史（1971）短距離疾走フォームに関する実験的研究―脚長と疾走フォームについての考察―．*東京女子体育大学紀要*, 6 : 22-33.

宮丸凱史 (1976) 短距離競走. 陸上競技のコーチング (I). 金原勇編. 大修館書店, 東京 : pp.171-298.

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.

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.

Morin, J. B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., and Lacour, J. R. (2012) Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. European Journal of Applied Physiology, 112: 3921-3930.

森丘保典・阿江通良・岡田英孝・高松潤二・宮下憲 (1997) 100m 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 - . Japanese Journal of Sports Sciences, 16 (1) : 111-118.

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 (3) : 2-14.

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.

村木征人 (1994) スポーツトレーニング理論. ブックハウス HD : 東京, pp.62-74.

[N]

Nagahara, R., Naito, H., Morin, J. B., and Zushi, K. (2014 a) Association of acceleration with spatiotemporal variables in maximal sprinting. International Journal of Sports Medicine, 35 (9):

755-761.

Nagahara, R., Matsubayashi, T., Matsuo, A., and Zushi, K. (2014 b) Kinematics of transition during human accelerated sprinting. *Biology open*, 3: 689-699.

Nagahara, R., Naito, H., Miyashiro, K., Morin, J. B., and Zushi, K. (2014 c) Traditional and ankle-specific vertical jumps as strength-power indicators for maximal sprint acceleration. *Journal of Medicine and Physical Fitness*, 54: 691-699.

永原隆・岡子浩二（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.

内藤景・荻山靖・宮代賢治・山元康平・尾縣貢・谷川聡（2013）短距離走競技者のステップタイプに応じた 100m レース中の加速局面の疾走動態．*体育学研究*，58（2）：523-538.

内藤景・山元康平・荻山靖・谷川聡（2014）専門的準備期から試合期への加速局面におけるスプリント走パフォーマンスの縦断的变化．*陸上競技研究*，98（3）：16-27.

中田和寿・阿江通良・宮下憲・横沢俊治（2003）バイオメカニクスデータを利用した短距離疾走動作の改善．*陸上競技学会誌*，1（1）：30-38.

[O]

尾縣貢・中野美沙・末松大喜・大宮真一（2008）100m 走のためのペダリング・クランキングパワー測定：時間的要因からのアプローチ．*陸上競技研究*，73（2）：19-25.

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（2）：2-8.

小木曾一之・串間敦郎・安井年文・青山清英（1997）全力疾走時にみられる疾走スピード
の変化特性. 体育学研究, 41 : 449-462.

太田涼・有川秀之（1999）100m 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 : 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.

[S]

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.

杉田正明（1997）スポーツの記録はどこまで伸びるのか?. 体育の科学, 47 (5) : 338-345.

杉田正明・小林寛道（2004）100m 疾走能力と自転車エルゴメーターによる発揮パワーと
の関係. 日本体育学会大会号, 55 : 320.

Slawinski, J., Bonnefoy, A., Ontanin, G., Leveque, J. M., Miller, C., Riquet, A., Cheze, L., and
Dumas, R. (2010) Segment-interaction in sprint start: analysis of 3D angular velocity and kinetic
energy in elite sprinters. Journal of Biomechanics, 43: 1494-1503.

Smirniotou, A., Katsikas, C., Paradisis, G., Argeitaki, P., Zacharogiannis, E., and Tziortzis, S.
(2008) Strength-power parameters as predictors of sprinting performance. Journal of Sports

Medicine and Physical Fitness, 48: 447-454.

[T]

谷川聡（2012）スプリント局面とスプリント技術．陸上競技入門ブック　ハードル．ベースボールマガジン社：東京， pp.157.

東京都立大学体力標準値研究会編（2000）新・日本人の体力標準値．不昧堂出版：東京， pp.20-153.

土江寛裕（2009）日本代表スプリンターにおけるレース中のピッチ変化が記録に及ぼす影響．スポーツパフォーマンス研究， 1： 169-176.

土江寛裕（2011）短距離走のトレーニング．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：東京， pp.68-144.

土江寛裕・櫛部静二・平塚潤（2010）最大スプリント走時の走速度，ピッチ・ストライド，接地・滞空時間の相互関係と，競技力向上への一考察．城西大学研究年報，自然科学編， 33： 31-36.

[V]

van Ingen Schenau, G. J., de Koning, J. J., and de Groot, G. (1994) Optimisation of sprinting performance in running, cycling and speed skating. Sports Medicine, 17 (4): 259-275.

[W]

Watts, A. S., Coleman, I., and Nevill, A. (2012) The changing shape characteristics associated with success in world-class sprinters. Journal of Sports Sciences, 30 (11): 1085-1095.

Wells, R. P., and Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal,

pathological and sporting gaits. In: Human Locomotion 1 (Proceedings of the first biannual conference of the Canadian Society of Biomechanics): pp. 92-93.

Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., and Wright, S. (2000) Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology*, 89: 1991-1999.

[Y]

山田憲政・関岡康雄・小林一敏・金子靖仙（1986）走速度増加に伴う身体のねじれに関する力学的研究．筑波大学体育科学系紀要，9：247-254．

山元康平・宮代賢治・内藤景・木越清信・谷川聡・大山卞圭悟・宮下憲・尾縣貢（2014）陸上競技男子 400m 走におけるレースパターンとパフォーマンスとの関係．*体育学研究*，59：159-173．

Yanai, T., and Hay, J. G. (2004) Combinations of cycle rate and length for minimizing the muscle power requirement in human running. *Journal of Applied Biomechanics*, 20: 51-70.

矢田恵大・阿江通良・谷川聡・伊藤章・福田厚治・貴嶋孝太（2011）標準動作モデルによる世界一流および学生短距離選手の疾走動作の比較．*陸上競技研究*，87 (4)：10-16．

矢田恵大・阿江通良・谷川聡（2012）世界一流および学生短距離選手の回復脚におけるキネティクスの相違．*陸上競技研究*，90 (3)：9-16．

横井孝志（1988）形態的要因が走動作におよぼす影響に関する生力学的研究．昭和 62 年度筑波大学大学院教育学博士論文．

Young, W., Mclean, B. and Ardagna, J. (1995) Relationship between strength qualities and sprinting

performance. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 35: 13-19.

[Z]

Zaferidis, A., Saraslanidis, P., Manou, V., Ioakimidis, P., Dipla, K., Kellis, S. (2005) The effects of resisted sled-pulling sprint training on acceleration and maximum speed performance. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 45: 284-290.

図子浩二・高松 薫（1995）バリスティックな伸張 - 短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因－筋力および瞬発力に着目して－. 体力科学, 44 : 147-154.

図子浩二（2009）スプリントトレーニングのマネジメント. スプリントトレーニング - 速く走る・泳ぐ・滑るを科学する－. 日本トレーニング科学会編. 朝倉書店：東京, pp.1-9.