

研究報告

110mハードルのレース後半における減速の要因に関する事例的研究

豊嶋 陵司¹⁾・山本 健太²⁾・福島 知樹²⁾・石井 大嗣²⁾・桜井 伸二²⁾

Case Study of Factors that Cause Deceleration During The Latter Half of 110 m Sprint Hurdles

Ryoji TOYOSHIMA, Kenta YAMAMOTO, Tomoki FUKUSHIMA,
Daishi ISHII, Shinji SAKURAI

I. 緒言

陸上競技の110mハードル（以下、「110mH」と略す）は、スタートラインから3.72mの地点より、9.14m間隔で設置された、高さ1.067mのハードルを10台越えて、ゴールまで疾走する時間を競う競技である。

110mHにおけるレース中の速度変化を分析した研究では、レース中の最高速度が高いほど、フィニッシュタイムが速いことが報告されている（柴山ほか、2010）。一方で、記録の短縮には、最高速度の向上だけでなく、高い速度を維持することも関連することが示唆されている（大山ほか、1979；柴山ほか、2010）。よって、レース後半の速度低下の要因を明らかにすることは、110mHの記録向上の一助になると考えられる。

これまでの110mHのレース中の速度に係る要因を検討した研究では、7台目の前後のみの分析（谷川・柴山、2010）や、6台目から7台目までの分析（柴山ほか、2011）など、レース中の1つの局面のみを対象としたものがほとんどであり、速度が高い局面および低い局面のパフォーマンスを比較した研究は、あまりみられない。

以上のことから、本研究では、14秒台および

15秒台の選手を対象に、110mHのレース前半に対する後半の減速の要因を事例的に示し、記録の短縮に向けたトレーニングに対する基礎資料を得ることを目的とした。

II. 方法

(1) 対象者

被験者は、公認競技会における110mHに出場した男子選手2名であった。2名の選手は同じ組で出場し、フィニッシュタイムは、1名（以下、「Sub. A」と略す）が14.55secで1着、他の1名（以下、「Sub. B」と略す）が15.57secで2着であった。風速は、向かい風0.2m/sであった。

(2) データ収集

スタートから31.14mの地点に設置された4台目のハードル、および、76.84mの地点に設置された9台目のハードル（以下、それぞれを「4th」「9th」と略す）の左側方10mの地点に、ハイスピードカメラ（スポーツコーチングカム、JVCケンウッド社製）を設置した。各カメラの画角は、ハードルの5m手前から4m先までの9mが撮影できるように設定し、対象者を固定撮影した（カメラスピード:240fps、シャッタースピード1/1000s）。競技の撮影に先立ち、各レーンの

¹⁾中京大学体育学研究科・²⁾中京大学スポーツ科学部

中央において、ハードルの5m手前、ハードルの接地位置、ハードルの4m先の3か所に、長さ2mの真っ直ぐな棒を地面と垂直になるように立て、校正用の映像を撮影した。

これらのデータ収集方法については、事前に大会主催者に説明し、許可を得て行った。

(3) データ処理

①分析範囲

本研究の分析範囲を、Fig. 1に示した。本研究では、片足が接地した瞬間から、次に逆側の足が接地する瞬間までを、「step」と定義し、ハードルを越えるstepを「hurdling」と定義した。分析範囲は、4thおよび9thそれぞれ、hurdlingの1つ前のstep（以下、「-1step」と略す）の開始時から、hurdlingの後の2step（以下、それぞれを「+1step」「+2step」と略す）の終了までの、合計4stepとした。-1step、hurdling、+1step、+2stepそれぞれの開始時を、 ON_{-1} 、 ON_H 、 ON_{+1} 、 ON_{+2} とし、+2stepの終了時を、 ON_{+3} とした。

②座標データの処理

撮影した映像から、デジタルソフト（Frame-DIAS V、DKH社製）を用いて、分析範囲における身体特徴点21点（頭頂、耳珠点、胸骨上縁、および左右の肩、肘、手首、手先、大転子、膝、足首、踵、足先）の位置をデジタル化し、2次元DLT法によって実座標値を得た。その際、対象者の進行方向をX軸、鉛直上方向をY軸とした。得られた実座標値は、4次のバターワース型ローパスフィルタによって、遮断周波数7Hzで平滑化した。

③算出項目

収集した座標データを用い、ピッチ、ストライド、疾走速度を、stepごとに算出した。ピッチは、1stepに要した時間の逆数とし、ストライドは、1stepにおける身体重心のX軸方向への移動距離とした。疾走速度は、ピッチとストライドとの積とした。なお、身体重心の位置は、日本人アスリートの身体部分慣性係数（阿江ほか、1992）を用いて推定した。さらに、各stepにおける接地から離地までを支持期、離地からそのstepの終わりまでを滞空期とし、それぞれの時間を支持時間および滞空時間、それぞれの身体重心の水平移動距離を支持距離および滞空距離として算出した。

Ⅲ. 結果および考察

(1) 速度、ピッチ、ストライドの4stepの平均値

Fig. 2に、速度、ピッチ、ストライドそれぞれの4stepの平均値について、4thから9thの変化を、被験者ごとに示した。速度は、4thおよび9thともにSub. AがSub. Bよりも高い値を示した。4thと9thとを比較すると、両者ともに速度およびピッチは低下し、ストライドは維持（Sub. A）もしくはわずかな増加（Sub. B）を示した。

被験者間および項目間で、4thから9thへの変化の大きさを比較するため、Fig. 3には、4thの値に対する9thの値の割合を示した。速度は、Sub. Aは96.2%、Sub. Bは96.9%と、両者で同程度の減速を示した。ピッチは、両者ともに95%

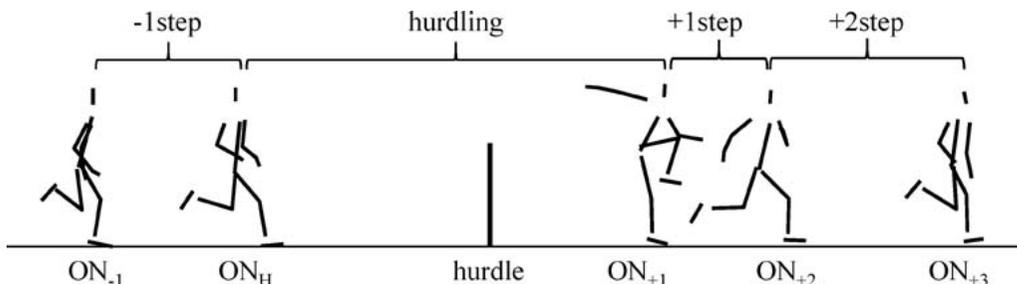


Fig. 1 Analyzed phase and definitions of events.

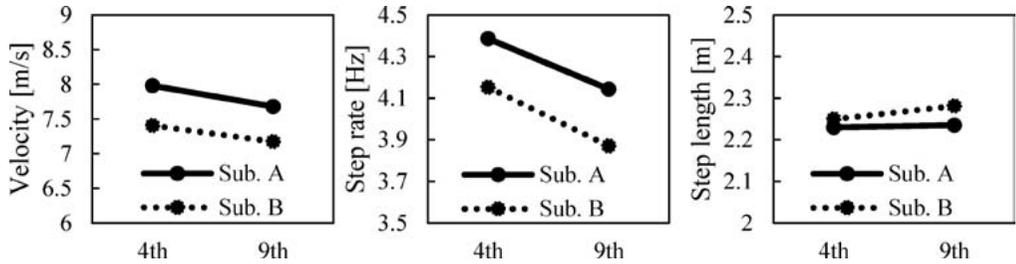


Fig. 2 Differences of spatiotemporal parameter between 4th and 9th.

未満となり、ストライドは、Sub. Aが100.2%、Sub. Bが101.4%と、9thは4thと比較して大きな違いが無いことが示された。よって、4stepの平均でみると、4thに対する9thの速度の低下は、ピッチの低下によるものであると考えられる。110mHでは、ハードル間の距離が一定 (9.14m)

であることから、同じ歩数でハードルを越えるためには、4stepの平均ストライドは維持する必要がある、速度はピッチとストライドとの積であることから、速度はピッチの影響を受けやすいと考えられる。

(2) 1 stepごとの速度、ピッチ、ストライド

Fig. 4には、速度、ピッチ、ストライドについて、4thに対する9thの割合を、stepごとに示した。速度は、両者ともに、全てのstepにおいて100%を下回っており、step間の差は、両者ともに5%未満であった。

ピッチは、step間で差がみられ (Sub. A: 89.7-103.9%、Sub. B: 88.4-98.0%)、両者ともに最も低値を示したのは+1stepであり、次に低値を示したのは+2step (90.5%、93.2%)であった。-1stepおよびhurdlingでは、+1stepおよび+2stepと比較すると、4thに対する9thの低下は小さかった。

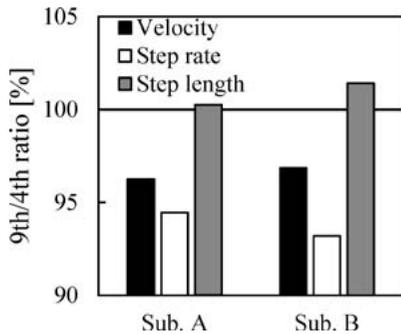


Fig. 3 The ratio of spatiotemporal parameters of 9th hurdle to those of 4th hurdle.

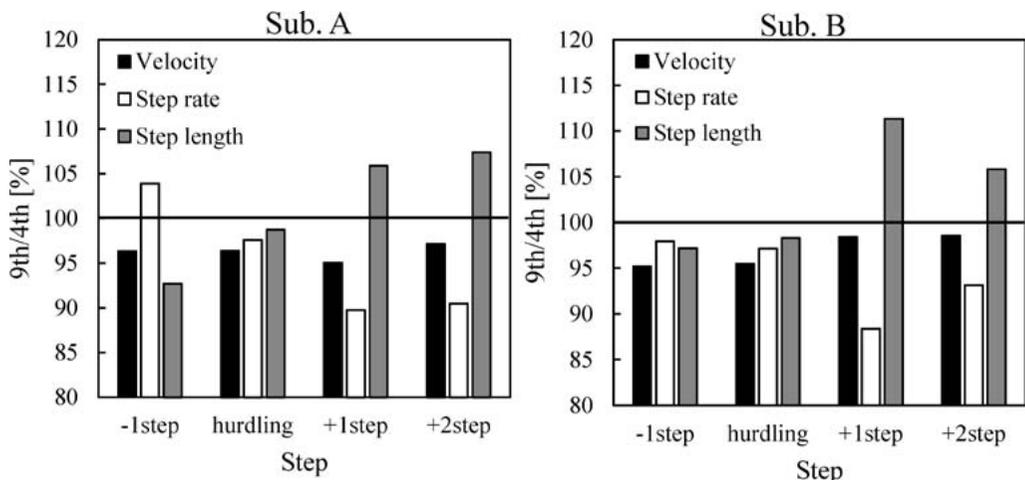


Fig. 4 The ratio of spatiotemporal parameters of 9th hurdle to those of 4th hurdle at each step.

4step平均では、ピッチが速度に影響していたという結果を踏まえると、特にハードルを越えた後の2stepのピッチの低下が、レース後半の疾走速度の低下に影響していることが考えられる。

ストライドは、ピッチとは逆に、+1stepおよび+2stepは、4thに対する9thの値が、両者ともに100%を上回った一方で、-1stepおよびhurdlingでは100%を下回った。つまり、4stepの平均値では、4thと9thとの間にストライドの大きな差はみられなかったが、1stepごとにみると、レースの前半と後半とでは、ストライドの大きさが変化することが示された。

ストライドが異なる場合、ハードルから各stepの接地位置までの距離も異なると考えられる。そこで、Table 1に、各stepの接地時における身体重心の水平座標を、ハードルの位置を原点として示した。なお、負の値はハードルよりスタート側、正の値はハードルよりゴール側に身体重心が位置していることを示している。また、これらを視覚的に理解するため、Fig. 5に

は、各接地時およびhurdling離地時のスティックピクチャおよび身体重心を示した。Sub. Aは、-1step開始時(ON₋₁)は、ハードルから身体重心までの距離が、4thと9thとであまり差はなかった(-0.03m)が、ON_Hにおける身体重心は、9thが4thよりも0.15m手前に位置し、ハードルから遠い位置で踏み切っていることが示された。さらに、hurdlingの終わりであるON₊₁では、9thが4thよりも0.21m手前に位置し、よりハードルの近くに着地していることが示された。このことは、9thでは次のハードル(10台目)までの距離が遠くなっていることを意味している。その後は、4thと9thとの身体重心の位

Table 1 Horizontal displacement [m] of center of gravity from the hurdle.

	Sub. A			Sub. B		
	4th	9th	9th-4th	4th	9th	9th-4th
ON ₋₁	-4.30	-4.33	-0.03	-4.18	-4.32	-0.14
ON _H	-2.50	-2.65	-0.15	-2.61	-2.79	-0.18
ON ₊₁	1.61	1.40	-0.21	1.69	1.44	-0.25
ON ₊₂	2.77	2.63	-0.14	2.81	2.69	-0.12
ON ₊₃	4.61	4.62	0.01	4.82	4.81	-0.01

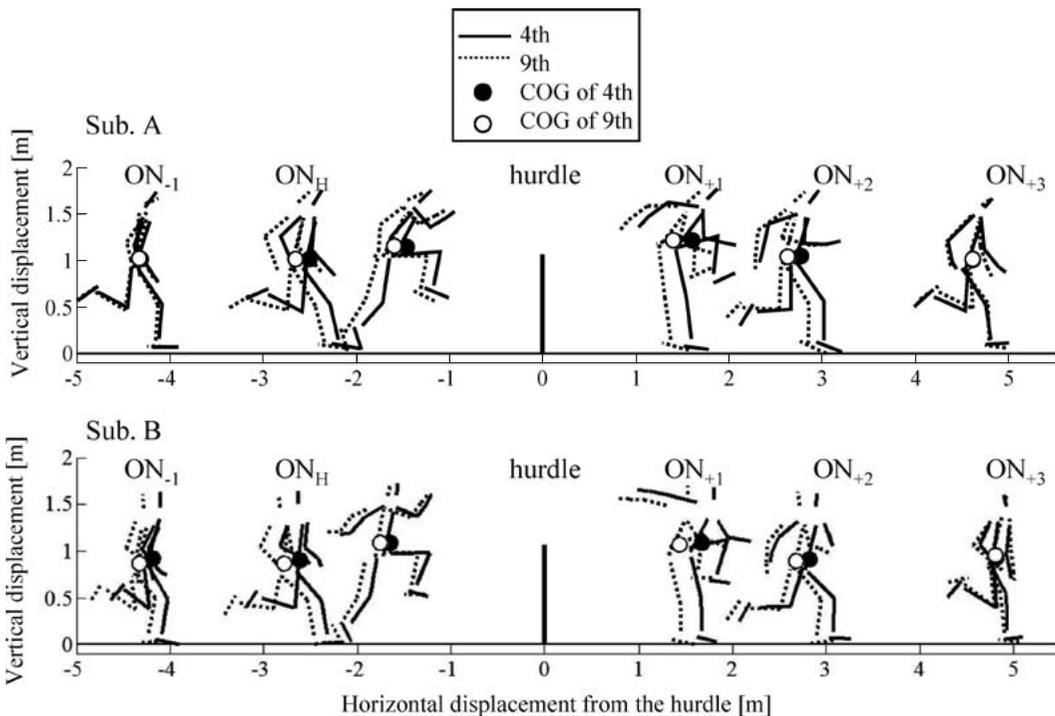


Fig. 5 Stick pictures at touchdown of each step.
COG: Center of gravity.

置の差は小さくなり、ON₄₃では、わずか0.01mとなった。これは、9thが、+1stepおよび+2stepでストライドを増大させたことによるものであるといえる。Sub. Bにおいては、ON₋₁において、9thの身体重心位置は4thよりも既に0.14m手前に位置していた。その後は、ON₄₁まで差が広がり、ON₄₃ではほぼ差がなくなるという、Sub. Aと同様の傾向が示された。110mHでは、接地位置が手前になるほど、次のハードルまでの距離が遠くなり、それが過剰になると、ハードルを越えるためにハードリング動作を変化させたり、歩数を増加させたりする等の必要が生じ、速度の大きな低下を招く可能性がある。この大きな減速を出来る限り抑えるためには、4stepでの総移動距離はレース後半でも維持される必要がある。その手段として、-1stepおよびhurdlingでのストライド短縮を、+1stepおよび+2stepで補っていたと考えられる。しかし、ピッチとストライドとの間には、負の相互作用が存在する(Hunter et al., 2004) ため、そのストライドの増大が、ピッチの低下を招いたと考えられる。

(3) レース後半の速度低下を抑制するための要因

ここまで、4thに対して9thでは速度が低下しており、その要因として、ハードル直前のステップからハードリングではストライドの短縮、ハードリング後ではピッチの低下が挙げられることを示した。また、ハードリング後のピッチの低下は、ハードリング前のストライドの短縮を補うために、ストライドを増大させたことによる負の相互作用であると考えられる。

しかし、ここでのピッチの低下を抑制するためにストライドを増大させた場合、次のハードルを越える際に、重心位置がハードルから遠くなり、より大きな速度の低下を招く可能性がある。以上のことから、110mHにおけるレース後半の減速を抑制するための要因は、ハードリング後のピッチの低下よりも、ハードリング前のストライドの短縮抑制に焦点を当てて検討すべきであると考えられる。そこで、支持距離、滞空距離、支持時間、滞空時間について、-1stepにおける4thに対する9thの割合を、Fig. 6に示した。Sub. AおよびSub. Bともに、支持距離は、100%をわずかに上回る値であったのに対し、滞空距離は90%に満たない値であった。また、支持時間は100%を上回ったが、滞空時間は90%未満であった。ストライドは、支持距離と滞空距離との和であり、さらに、滞空時間の長さはストライドの大きさに影響するとされている(Hunter et al., 2004; 豊嶋ほか, 2015; 内藤ほか, 2017)。これらのことから、9thの-1stepにおけるストライドの短縮は、滞空時間の短縮に影響を受けた、滞空距離の短縮によるものであると考えられる。

ピッチを低下させずにストライドを増大させるためには、滞空時間を長くして滞空距離を獲得する一方で、支持時間は短くする必要がある(Toyoshima & Sakurai, 2017)。しかし、本研究の9thでは、支持時間の増大と滞空時間の短縮という、ストライド増大に必要なこととは逆の変化が生じていた。支持時間を維持あるいは短縮しながらも滞空時間を増大するためには、その滞空期直前の支持期において、地面反力の鉛

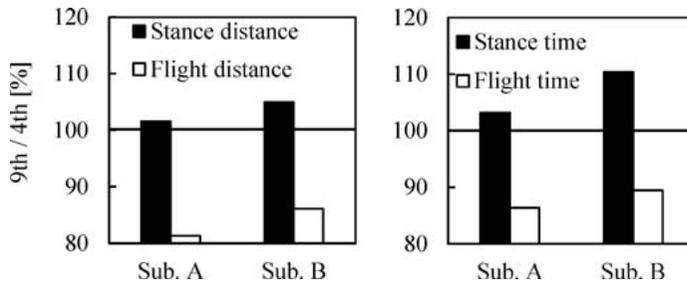


Fig. 6 The ratio of stance and flight distance (left) and stance and flight time (right) of 4th to those of 9th at -1step.

直成分（以下、「鉛直地面反力」と略す）を増大させる必要がある（Weyand et al., 2000；豊嶋ほか, 2015；Toyoshima & Sakurai, 2017）。よって、110mHのレース後半における減速を抑制するための要因の1つとして、支持期に獲得する鉛直地面反力を減少させないことが挙げられる。この鉛直地面反力の減少に係る体力および技術的要因は、今後の検討課題となるであろう。

IV. まとめ

本研究は、陸上競技の110mHにおいて、レース後半の減速を抑制するための基礎資料を得るため、2名の選手を対象に、4台目および9台目付近のパフォーマンスを事例的に比較した。対象者のフィニッシュタイムは、14.55および15.57と、約1秒の違いがみられたが、4台目に対する9台目のパフォーマンスの変化は、類似した傾向がみられた。主な結果は、以下のようにまとめられる。

- (1) 4thに対して9thは、疾走速度が3%程度低下した。
- (2) 4stepの平均値では、4thに対して9thではピッチが低下しており、ストライドは大きな差がみられなかった。
- (3) 1stepごとに比較すると、9thは4thに対し、-1stepおよびhurdlingにおいてはストライドが短縮し、+1stepおよび+2stepでは、ストライドが増大する一方でピッチが低下していた。
- (4) -1stepにおいて、9thは4thに対して、滞空距離および滞空時間が短縮していた。

以上のことから、110mHのレース後半においては、ハードル前の滞空時間および滞空距離の低下の抑制に努めることにより、ストライドの短縮が抑えられ、ハードルを越えた後にストライドを大きくする必要がなくなり、結果的にピッチの低下も抑制されると考えられる。これらのことは、110mHにおけるレース後半の減速を抑制するための基礎的な知見になると考えられる。

付記

本研究は2016年度中京大学体育研究所の共同研究費を使用して行われた。

参考文献

1. 阿江 通良・湯 海鵬・横井 孝志. 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定 (1部 形態と運動の計測). バイオメカニズム, 11: 23-33, 1992.
2. Hunter, J. P., Marshall, R. N., and McNair, P. J. Interaction of step length and step rate during sprint running. Med. Sci. Sports Exerc., 36: 261-271, 2004.
3. 内藤 景・荏山 靖・山元 康平・宮代 賢治・谷川 聡. 試合期における100mレース中のストライドおよびピッチの個人内変動. 陸上競技学会誌, 15: 55-66, 2017.
4. 大山 康彦・関岡 康雄・宮下 憲・鋤柄 純忠. ハイハードルに関する研究-110mハイハードル走における速度推移に関して-. 茨城キリスト教大学紀要, 13: 25-31, 1979.
5. 柴山 一仁・藤井 範久・阿江 通良. 一流110mハードル走選手の1サイクル動作に関するキネマティクスの研究: 疾走速度および脚長と動作の関連から. 体育学研究, 56: 75-88, 2011.
6. 柴山 一仁・川上 小百合・谷川 聡. 2007年世界陸上競技選手権大阪大会における男子110mハードル走および女子100mハードル走レースの時間分析. 澤木 啓祐編, 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. 財団法人日本陸上競技連盟, pp. 76-85, 2010.
7. 谷川 聡・柴山 一仁. 2007年世界陸上競技選手権大阪大会における男子110mハードル走および女子100mハードル走レースの動作分析. 澤木 啓祐編, 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. 財団法人日本陸上競技連盟, pp. 86-95, 2010.
8. 豊嶋 陵司・田内 健二・遠藤 俊典・磯

- 繁雄・桜井 伸二. スプリント走における
ピッチおよびストライドの個人内変動に影
響を与えるバイオメカニクスの要因. 体育
学研究, 60 : 197-208, 2015.
9. Toyoshima, R. and Sakurai, S. Kinematic
Characteristics of High Step Frequency
Sprinters and Long Step Length Sprinters
at Top Speed Phase. *Int. J. Sports Health
Sci.*, 14: 41-50, 2016.
10. Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi,
M. J., and Wright, S. Faster top running
speeds are achieved with greater ground
forces not more rapid leg movements. *J.
Appl. Physiol.*, 89: 1991-1999, 2000.