論文

男子 400m ハードル走におけるレース中の歩数切換が タイムおよびピッチに与える影響

Effects of switching steps on time and stride frequency in men's 400m hurdle races

長谷伸之助1), 欠畑 岳2), 野澤啓佑3), 中川剣人4), 礒 繁雄4)

1)早稲田大学大学院スポーツ科学研究科 2)東京大学大学院総合文化研究科 3)山梨学院大学 4)早稲田大学スポーツ科学学術院

キーワード: トップアスリート,レース分析,戦術,歩数切換

[Abstract]

The purpose of this study was to clarify the influence of switching steps on time and stride frequency through the analysis of men's 400mH races, and to research the necessity of switching steps by the race strategy of Japanese athletes. The subjects were 15 Japanese men's 400mH athletes. We calculated the time and stride frequency in each interval from movies taken by video cameras or movies obtained from public Internet broadcasts of races. The stride frequency significantly decreased in the hurdle section after switching steps. Furthermore, the time changing rate of switching steps section was significantly higher in the section where the number of steps was switched than in the section where the same number of steps were taken in the next section. These results suggest that switching steps may have contributed to the decrease in performance due to the increase in time.

スポーツ科学研究, 20, 16-26, 2023 年, 受付日:2022 年 10 月 4 日, 受理日:2023 年 3 月 21 日連絡先: 長谷伸之助 090-8055-5247 shin61196@gmail.com

I. 緒言

東京 2020 オリンピック大会男子 400m ハードル 走(以下「400mH」と略す)において, Warholm 選手(ノルウェー)が自身のもつ世界記録(46.70 秒)を大幅に更新する 45.94 秒で制した. この記録は, World Athletics が規定する Result Score Points (World Athletics, 2017)において, 1340 ポイントであり男子 100m 走に換算すると 9.62 秒に値する驚異的なものであった. また, 同レースにおいて Benjamin 選手(アメリカ)も 46.17 秒(1328 ポイント)と従来の世界記録を上回る好記録を残した. これまで先行研究では, 400mH のレース分析(欠畑ほか, 2019;森丘ほか, 2000, 2005, 2008; Otsuka and Isaka, 2019; 杉本ほか, 2020a, 2020b)が多く

報告されている. 森丘ほか(2005)は, 国内外主要競技会決勝レースでは, ハードル5 台目から8台目の中盤局面で約74%の選手が歩数切換を実施していたと報告している. 一方で, Ditroilo and Marini (2001)は, 中盤局面において, 多くの選手が歩数切換を実施することで, 走速度が低下するのではないかと報告している. また, パフォーマンスが高い選手は,後半局面での歩数切換もしくは歩数切換を実施しないレース戦略であったことも報告されている(Casal et al., 2020; Graudner and Nixdorf, 2011; 安井ほか, 2008). したがって, 歩数切換の実施は400mHのレース展開を戦術するうえで重要な要因であるといえる. しかし, 現段階においてレースでの歩数切換が与える具体的な

影響は、明らかにされていない.

そこで本研究は、日本国内男子 400mH のレース分析を通して歩数切換がタイムおよびピッチに与える影響を明らかにすることを目的とした.

II. 方法

1. 分析対象者および対象競技会

分析対象レースは、日本陸上競技連盟が定めている 2021 年度日本グランプリシリーズ参加資格記録 (50.80 秒)以内の記録を対象競技会で残した 15 名のデータであった。そのうち、複数競技会に出場した対象者は、9 名であった。分析対象者の最も記録の良かったレースの平均レースタイムは、 49.83 ± 0.53 秒であり平均自己ベストタイムは、 49.25 ± 0.54 秒であった (n = 15).

対象競技会は以下の5大会である.

- ① 第36回静岡国際陸上競技大会(5月3日, 小笠山総合運動公園,静岡)
- ② 第8回木南道孝記念陸上競技大会(6月1日, ヤンマースタジアム長居, 大阪)
- ③ Denka Athletics Challenge Cup 2021 (6月6日, デンカビックスワンスタジアム, 新潟)
- ④ 第 105 回日本陸上競技選手権大会(予選 6 月 25 日,決勝 6 月 26,ヤンマースタジアム長居,大阪)
- ⑤ 第 18 回田島直人記念陸上競技大会(10 月 17 日,維新百年記念公園,山口)

2. 撮影方法

撮影方法は、スタートピストルの閃光を映した後、全区間のインターバル歩数とハードルクリアランス直後のリード脚の接地(以下「タッチダウン」と略す)が判別できるよう 1 台のビデオカメラ(DMC-FZ300, Panasonic 社)を用いて追従撮影した(フレームレート, 60Hz). また、撮影が実施できなかった競技会およびレースは、公的利用可能なインターネットブロードキャスト(YouTube, Google 社)内の動画を用いた. なお、インターネットブロードキャスト内で使用した動画は、スタートピストルの閃光が映っている動画データを使用した. 分析対象レース動画の内訳は、ビデオカメラによる動画が 6名、インターネットブロードキャストによる動画が 9名であった.

3. 解析方法

解析は、撮影で取得したレースでの動画像を動画再生ソフト(QuickTime for Windows 7.7.9)を用いて実施した. なお、ビデオカメラによる撮影データを使用した 6 名には、各対象者に対して、研究目的のための利用の了解を得ている.

4. 区間定義

1) ハードル区間の定義

スタートからハードル 1 台目区間を S-H1 とし、 以後ハードル各区間を H1-H2 … H9-H10 とし、 ハードル 10 台目からゴールまでを H10-G と定義 した(図 1).

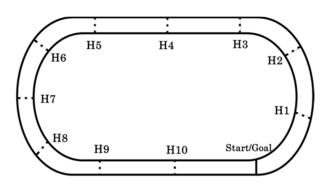


図 1. ハードル区間定義

2) 歩数切換前区間, 歩数切換時区間, 歩数 切換後区間の定義

歩数切換が実施されたハードル区間(前区間よりも歩数が増加した区間)は、歩数切換時区間(以下「switch」と略す)と定義し、switchの前ハー

ドル区間を歩数切換前区間(以下「switch-1」と略す), switch の次ハードル区間を歩数切換後区間(以下「switch+1」と略す)とした. 図 2 は, 13 歩から 14 歩へ歩数切換を実施した際の区間定義を示したものである.

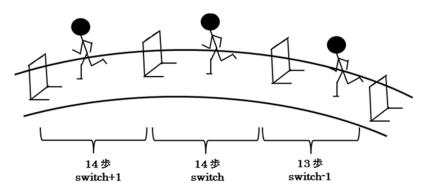


図 2. switch-1, switch, switch+1 区間定義(13 歩から 14 歩)

4. データ算出区分

1)区間タイム(秒)

区間タイムは、ハードルクリアランス直後のリード脚のタッチダウンから次ハードルクリアランス直後のリード脚のタッチダウンまでの所要時間と定義した.

2)平均区間速度(m/s)

平均区間速度は,区間距離(S-H1:45m,各ハードル区間:35m,H10-G:40m)を区間タイムで除すことで算出した.

3)平均区間ピッチ(Hz)

平均区間ピッチは、タッチダウン直後の抜き脚の接地から次ハードルのタッチダウン直前の踏切脚の接地までの区間における所要歩数を所要時間で除すことで算出した. つまり、この区間は、ハードリング時間を除いたランニングのみの区間である.

4)区間歩数(歩)

区間歩数は、ハードルクリアランス直後のリード 脚のタッチダウンから次ハードルのタッチダウン 直前の踏切脚の接地までの所要歩数とした. 5)区間タイムおよびピッチの変化率の算出方法 区間タイムおよびピッチの変化率は,以下の式 で算出し,対象区間は,switch-1 から switch, switch から switch+1 の二区間とした.

タイム変化率(%) =
$$\frac{(タイ\Delta_{switch} - タイ\Delta_{switch-1})}{g/\Delta_{switch}} \times 100$$

ピッチ変化率(%) = $\frac{(\cancel{\textit{E}}^{\textit{v}}\cancel{\textit{F}}_{switch} - \cancel{\textit{E}}^{\textit{v}}\cancel{\textit{F}}_{switch-1})}{\cancel{\textit{E}}^{\textit{v}}\cancel{\textit{F}}_{switch}} \times 100$

6)前半型および後半型のタイプ分け

森丘(2006)の研究を参考にレースタイムに対する S-H5 までのタイムの相対ペース配分と S-H5 までの速度が H5-H8 でどの程度維持できていたかを示すタイムの変化率を基に前半型および後半型のタイプ分けを行った. タイプ分けは,全対象者(n=15)と複数競技会出場対象者(n=9)の二種類のデータを算出した.

全対象者(n = 15)のタイプ分けは、S-H5 相対ペース配分の平均値(43.55 ± 0.59 %)および H5-H8 変化率の平均値(5.59 ± 1.85 %)を基に縦軸を43.55%、横軸を5.59%で基準分けをおこない、象限を分類した。複数競技会出場対象者(n = 9)のタイプ分けでは、S-H5 相対ペース配分の平均値(43.69 ± 0.62 %)および H5-H8 変化率の平均値(5.13 ± 1.85 %)を基に縦軸を43.69%、横

軸を 5.11%で基準分けをおこない,象限に分類 した. 左上の第二象限に含まれる対象者を後半 型,右下の第四象限に含まれる対象者を前半 型と定義した.

算出式は,以下の式を用いた.

H5-H8 変化率(%)=1-
$$\frac{(105/H5-H8 \ \Box \ \square \ \cancel{o} / \cancel{o} / \cancel{o})}{(185/H5 \ \exists \ \exists \ \exists \ \cancel{o} / \cancel{o} / \cancel{o})} \times 100$$

7)個人内の異なった歩数戦略の変化率の比較

複数競技会出場対象者(n = 9)のなかで 4 名が 異なった歩数戦略を採用していた. そこでレース タイムを基にパフォーマンスが低かった試合と高 かった試合のデータ算出項目の変化率を算出 した. 算出項目は, スタートからゴールまでのハ ードル区間を含む全 11 区間ごとのタイム, 歩数, ピッチとした.

算出式は,以下の式を用いた.

変化率 (%) =

$$(パフォーマンスが低い試合の値-パフォーマンスが高い試合の値)$$
 \times 100

6. 統計処理

歩数切換前後の各区間(switch-1, switch, switch+1)のタイム、ピッチの平均値の差の検定を実施するに先立ち、13 歩から 14 歩への歩数切換のケースと14歩から15への歩数切換のケースに分類し、それぞれ一元配置分散分析を行った。主効果が認められた場合、Bonferroni 法により多重比較を実施した。また、switch-1 から switch, switch から switch+1 のタイムおよびピッチの変化率の平均値の差の検定はそれぞれ対応のある t検定を用いて算出した。統計量の算出には統計解析ソフトウェア(SPSS statistics ver27、IBM)を使用した。有意水準は、すべて5%未満を採用した。

III. 結果

1. レースにおける速度・ピッチの経時的変化

平均区間速度および平均区間ピッチは, H1-H2 で最大値が出現し, その後ゴールに向かって漸減する経時的変化を示した(図 3). 一方で,表1は,個人内における区間タイム, 平均区間速度,区間歩数, 平均区間ピッチの経時的変化をまとめたものである. 個人のデータをみても, 速度およびピッチともに対象者全員が H1-H2 で最大値が出現し, その後ゴールに向かって減少していく経時的変化であった.

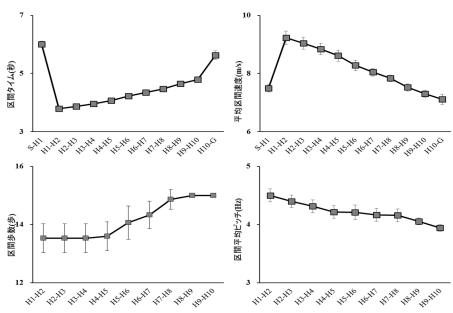


図 3. 区間タイム, 平均区間速度, 区間歩数, 平均区間ピッチの経時的変化

名前	レースタイム(秒)		S-H1	H1-H2	H2-H3	H3-H4	H4-H5	H5-H6	H6-H7	H7-H8	H8-H9	H9-H10	H10-G
A	48.69	タイム(秒)	5.87	3.60	3.65	3.77	3.92	4.17	4.27	4.38	4.67	4.83	5.57
		歩数(歩)		13	13	13	13	14	14	15	15	15	
		ピッチ(Hz)		4.02	3.93	3.85	3.67	3.73	3.64	3.77	3.54	3.41	
В	48.87	タイム(秒)	5.97	3.63	3.77	3.80	3.87	4.03	4.25	4.45	4.65	4.78	5.67
		歩数(歩)		13	13	13	13	13	14	14	15	15	
		ピッチ(Hz)		3.96	3.85	3.79	3.75	3.60	3.63	3.47	3.53	3.44	
C	49.29	タイム(秒)	5.97	3.80	3.88	4.02	4.08	4.22	4.28	4.47	4.52	4.67	5.39
		歩数(歩)		13	13	13	13	14	14	15	15	15	
		ピッチ(Hz)		3.81	3.71	3.58	3.50	3.71	3.58	3.68	3.65	3.54	
D	49.48	タイム(秒)	6.10	3.88	3.95	4.00	4.03	4.10	4.22	4.37	4.55	4.72	5.56
		歩数(歩)		14	14	14	14	14	14	15	15	15	
		ピッチ(Hz)		4.02	4.00	3.92	3.90	3.82	3.77	3.84	3.65	3.51	
E	49.70	タイム(秒)	6.00	3.88	3.92	4.00	4.04	4.12	4.32	4.44	4.64	4.80	5.54
		歩数(歩)		14	14	14	14	14	15	15	15	15	
		ピッチ(Hz)		4.06	4.01	3.92	3.87	3.78	3.85	3.72	3.61	3.43	
F	49.73	タイム(秒)	5.96	3.88	4.00	4.04	4.16	4.28	4.36	4.40	4.60	4.68	5.37
		歩数(歩)		14	14	14	14	14	15	15	15	15	
		ピッチ(Hz)		4.06	3.92	3.87	3.69	3.61	3.80	3.76	3.61	3.50	
G	49.80	タイム(秒)	5.97	3.73	3.83	3.90	4.03	4.17	4.37	4.50	4.67	4.90	5.73
		歩数(歩)		13	13	13	13	14	14	15	15	15	
		ピッチ(Hz)		3.91	3.79	3.75	3.60	3.75	3.61	3.65	3.53	3.41	
H	49.91	タイム(秒)	6.03	3.87	3.93	4.03	4.17	4.30	4.37	4.43	4.53	4.70	5.54
		歩数(歩)		14	14	14	14	15	15	15	15	15	
		ピッチ(Hz)		4.11	3.98	3.86	3.71	3.89	3.82	3.68	3.59	3.50	
I	49.98	タイム(秒)	5.92	3.72	3.80	3.88	4.08	4.28	4.40	4.48	4.72	4.88	5.82
_		歩数(歩)		13	13	13	14	14	14	15	15	15	
		ピッチ(Hz)		3.90	3.85	3.75	3.82	3.65	3.57	3.65	3.50	3.37	
J	50.16	タイム(秒)	5.97	3.73	3.83	3.97	4.03	4.27	4.43	4.57	4.77	4.90	5.69
	20.20	歩数(歩)	2.27	13	13	13	13	13	14	14	15	15	2.02
		ピッチ(Hz)		3.87	3.75	3.60	3.60	3.36	3.48	3.39	3.47	3.36	
K	50.17	タイム(秒)	6.18	3.83	3.90	3.97	4.04	4.27	4.33	4.57	4.70	4.80	5.58
14	20.17	歩数(歩)	0.10	13	13	13	13	14	14	15	15	15	3.50
		ピッチ(Hz)		3.83	3.73	3.69	3.57	3.66	3.61	3.62	3.53	3.46	
L	50.33	タイム(秒)	5.84	3.84	3.88	4.00	4.12	4.32	4.48	4.60	4.76	4.84	5.65
2	50.55	歩数(歩)	5.01	14	14	14	14	14	14	15	15	15	5.05
		ピッチ(Hz)		4.11	4.01	3.92	3.78	3.65	3.49	3.57	3.47	3.40	
M	50.40	タイム(秒)	6.16	3.84	3.96	4.00	4.12	4.24	4.36	4.48	4.64	4.84	5.76
141	30.40	歩数(歩)	0.10	14	14	14	14	14	14	15	15	15	5.70
		ピッチ(Hz)		4.11	3.92	3.92	3.78	3.74	3.61	3.68	3.57	3.47	
N	50.43	タイム(秒)	5.97	3.77	3.83	4.00	4.10	4.33	4.43	4.43	4.73	4.90	5.93
	50.15	歩数(歩)	2.27	14	14	14	14	15	15	15	15	15	3.73
		ピッチ(Hz)		4.19	4.06	3.90	3.79	3.82	3.72	3.68	3.50	3.36	
0	50.45	タイム(秒)	6.17	3.93	3.93	4.07	4.20	4.33	4.40	4.47	4.63	4.70	5.62
O	30.43	歩数(歩)	0.17	14	14	14	14	15	15	15	15	15	5.02
		歩数(歩) ピッチ(Hz)		4.06	3.98	3.90	3.71	3.85	3.82	3.72	3.59	3.50	
平均値±標準偏差	49.83 ± 0.53	タイム(秒)	6.00 ± 0.10	3.80 ± 0.09	3.98 3.87 ± 0.09	3.96 ± 0.08	4.07 ± 0.09	4.23 ± 0.09	4.35 ± 0.07	4.47 ± 0.07	4.65 ± 0.08	4.80 ± 0.08	5.63 ± 0.14
1.7分間工 1宗华/備左	47.63 - 0.33	歩数(歩)	0.00 ± 0.10		3.87 ± 0.09 13.53 ± 0.50				4.33 ± 0.07 14.33 ± 0.47		4.05 ± 0.08	4.80 ± 0.08	J.03 ± 0.14
		歩数(歩) ピッチ(Hz)									3.56 ± 0.06		
		こッテ(riz)		4.00 ± 0.11	3.90 ± 0.11	3.81 ± U.11	3.72 ± 0.11	3.71 ± 0.13	3.07 ± 0.12	3.00 ± 0.11	3.30 ± 0.00	3.44 ± 0.00	

表 1. 個人内における区間タイム, 平均区間速度, 区間歩数, 平均区間ピッチの経時的変化

2. レースにおける歩数・歩数切換の実施状況

対象者全員が 13 歩から 15 歩の区間歩数で

疾走していた. また, H8-H10 の二区間では対象 者全員が 15 歩を使用していた(図 4).

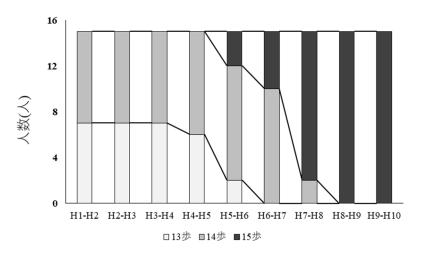


図 4. 各ハードル区間における歩数使用人数

歩数切換においては、13 歩から 14 歩への歩数切換を実施した対象者が 15 名中 7 名、その 7 名全員が 15 歩への歩数切換も行っており、二度の歩数切換を実施していた。また、14 歩が最小区間歩数だった対象者は一度の歩数切換を実

施していた. つまり, 15 名全員が 14 歩から 15 歩 への歩数切換を実施していた. さらに, 対象者全 員が H4-H9 のいずれかの区間で歩数切換を実 施していた(図 5).

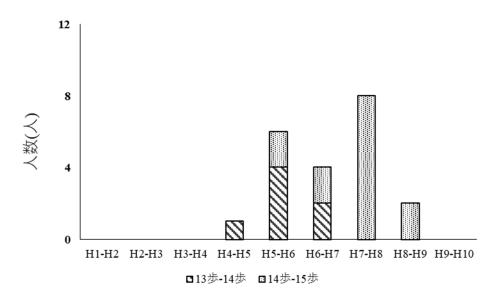


図 5. 各ハードル区間における歩数切換実施人数

3. 同一対象者のパフォーマンスと歩数切換の関係

本研究において全対象者(n = 15)のタイプ分け の内訳は,前半型が7名,後半型が8名であっ た(図 6). さらに前半型は, 7 名中 5 名が 13 歩 /14 歩/15 歩の歩数戦略であり, 後半型は, 8 名中 6 名が 14 歩/15 歩の歩数戦略であった.

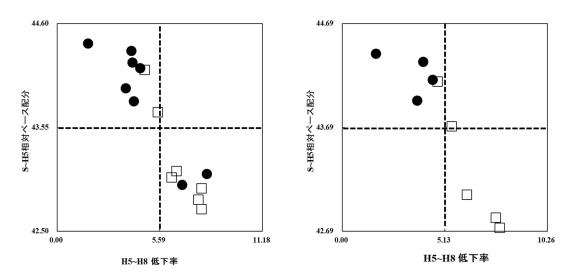


図 6. 前半型および後半型タイプ分け

左図:全対象者 (n=15), ●: 14 歩/15 歩使用 □: 13 歩/14 歩/15 歩使用 右図:複数競技会出場対象者 (n=9), ●: 14 歩/15 歩使用 □: 13 歩/14 歩/15 歩使用

一方,複数競技会出場対象者(n = 9)のタイプ 分けの内訳は,前半型が 3 名,後半型が 5 名, どちらにも属さない対象者が 1 名であった(図 6). また,前半型に含まれる 3 名全員が 13 歩/14 歩 /15 歩を使用する歩数戦略であった.また,後半 型に含まれる 5 名中 4 名が 14 歩/15 歩を使用す る歩数戦略であった.

複数競技会に出場した9名の中で4名(B, C, E, I)が異なる歩数戦略を採用していた(表 2). そのうち3名(B, E, I)がパフォーマンスの低いレースでは、パフォーマンスが高いレースと比較して、早急に歩数切換を実施していた. さらにパフォーマ

ンスとタイムの変化率においては、B 選手のタイムの変化率が最も高かった区間は、H5-H6 区間であった(タイム変化率: 4.22%、パフォーマンス高いレース: 3.59 秒、パフォーマンス低いレース:4.03 秒). この区間で B 選手は、歩数切換を実施していた. E 選手のタイムの変化率が最も高かった区間は、H5-H6 区間であった(タイム変化率: 3.64%、パフォーマンス高いレース: 4.12 秒、パフォーマン

ス低いレース:4.27 秒). E 選手も同様,この区間で歩数切換を実施していた. I 選手のタイムの変化率が最も高かった区間は, H2-H3 区間であった(タイム変化率: 5.26%, パフォーマンス高いレース: 3.80 秒, パフォーマンス低いレース:4.00 秒). また, I 選手も同様,この区間で歩数切換を実施していた.

表 2. 異なった歩数戦略を用いた対象者(n=4)レースの区間タイム, 歩数, ピッチの個人内比較

	ゴール	レタイム	S-H1	H1-H2	H2-H3	H3-H4	H4-H5	H5-H6	H6-H7	H7-H8	H8 - H9	H9-H10	H10-G
В	48.87	タイム (秒)	5.97	3.63	3.77	3.80	3.87	4.03	4.25	4.45	4.65	4.78	5.67
		歩数(歩)		13	13	13	13	13	14	14	15	15	
		ピッチ (Hz)		4.02	3.85	3.82	3.74	3.59	3.67	3.46	3.56	3.45	
В	50.35	タイム (秒)	5.93	3.67	3.77	3.87	3.97	4.20	4.33	4.57	4.73	4.93	6.38
		歩数(歩)		13	13	13	13	14	14	15	15	15	
		ピッチ (Hz)		3.98	3.85	3.75	3.64	3.72	3.60	3.61	3.49	3.35	
C	49.29	マイム (秒)	5.97	3.80	3.88	4.02	4.08	4.22	4.28	4.47	4.52	4.67	5.39
		歩数(歩)		13	13	13	13	14	14	15	15	15	
		ピッチ (Hz)		3.84	3.73	3.61	3.54	3.70	3.64	3.69	3.66	3.54	
C	49.97	タイム (秒)	5.97	3.77	3.87	3.93	4.07	4.23	4.33	4.47	4.80	4.93	5.60
		歩数(歩)		13	13	13	13	14	14	14	15	15	
		ピッチ (Hz)		3.87	3.75	3.69	3.55	3.69	3.60	3.45	3.45	3.35	
E	49.70	タイム (秒)	6.00	3.88	3.92	4.00	4.04	4.12	4.32	4.44	4.64	4.80	5.54
		歩数(歩)		14	14	14	14	14	15	15	15	15	
		ピッチ (Hz)		4.05	3.98	3.91	3.85	3.79	3.87	3.72	3.56	3.44	
Е	49.99	タイム (秒)	6.00	3.97	3.97	3.93	4.07	4.27	4.33	4.40	4.57	4.83	5.66
		歩数(歩)		14	14	14	14	15	15	15	15	15	
		ピッチ (Hz)		3.96	3.94	3.97	3.83	3.92	3.85	3.75	3.62	3.42	
I	49.98	タイム (秒)	5.92	3.72	3.80	3.88	4.08	4.28	4.40	4.48	4.72	4.88	5.82
		歩数(歩)		13	13	13	14	14	14	15	15	15	
		ピッチ (Hz)		3.92	3.82	3.74	3.81	3.65	3.54	3.68	3.50	3.38	
I	50.07	タイム (秒)	6.08	3.83	4.00	4.00	4.24	4.20	4.32	4.60	4.64	4.63	5.52
		歩数(歩)		13	14	13	14	14	14	15	15	15	
		ピッチ (Hz)		3.81	3.90	3.63	3.67	3.72	3.61	3.59	3.56	3.56	

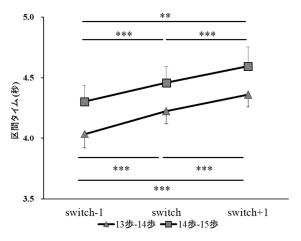
4. 歩数切換実施時のタイム・ピッチの変化

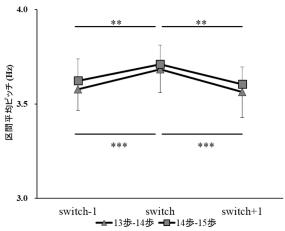
switch-1, switch, switch+1 各区間のタイムの変化を検討するため、13 歩から 14 歩、14 歩から 15 歩への歩数切換それぞれのケースで一元配置分散分析を行ったところ、いずれも主効果が認められた(13 歩から 14 歩の歩数切換、F(2、12)= 100.52、p < 0.001; 14 歩から 15 歩の歩数切換、F(2、28)= 150.70、p < 0.001). 多重比較の結果、いずれのケースも switch-1、switch、

switch+1 の順で有意に区間タイムが増加していた(p < 0.01)(図 7).

一方で、switch-1、switch、switch+1 各区間の ピッチの変化において、13 歩から 14 歩、14 歩から 15 歩への歩数切換それぞれのケースで一元配 置分散分析を行ったところ、いずれも主効果が認 められた(13 歩から 14 歩の歩数切換、F(2、12) = 14.86、p < 0.001;14 歩から 15 歩の歩数切換、 F(2、28)= 23.17、p < 0.001).多重比較の結果, 13 歩から 14 歩, 14 歩から 15 歩ともに switch-1 から switch にかけて有意に増加し,その後, switch から switch+1 にかけて有意に減少してい

た(p < 0.01). また, switch-1 と switch+1 では有意差がみられなかった(図 7).





: p < 0.01, *: p < 0.001

図 7.13 歩から 14 歩.14 歩から 15 歩の歩数切換における switch-1, switch, switch+1 のタイムおよびピッチの変化

5. 歩数切換におけるタイムおよびピッチの変化率

歩数切換における switch-1 から switch および switch から switch+1 のタイム変化率の平均値の 差の検定を実施した. その結果, switch-1 から switch のタイム変化率は, switch から switch+1 の タイム変化率よりも有意に高かった(t(14) = 2.62,

p = 0.020) (表 3).

歩数切換における switch-1 から switch および switch から switch+1 のピッチ変化率の平均値の 差の検定を実施した. その結果, switch-1 から switch のピッチ変化率は, switch から switch+1 のピッチ変化率よりも有意に高かったことが明らかと なった(t(14) = 11.60, p < 0.001) (表 3).

表 3. switch-1 から switch, switch から switch+1 におけるタイムおよびピッチの変化率の比較

	switch-1 から switch タイム変化率	switch から switch+1 タイム変化率	switch-1 から switch ピッチ変化率	switch から switch+1 ピッチ変化率
A	6.00	2.34	1.57	-2.39
В	5.10	4.49	0.77	-4.65
С	3.16	1.56	5.90	-3.81
D	3.44	4.03	1.76	-5.02
E	4.63	2.70	1.74	-3.30
F	1.83	0.91	5.08	-1.09
G	3.20	4.58	4.00	-3.85
Н	3.10	1.53	4.49	-1.85
I	4.90	4.67	1.92	-4.71
J	3.76	2.92	3.38	-2.68
K	5.31	1.54	2.47	-1.41
L	2.61	3.36	2.15	-3.06
M	2.68	3.45	1.98	-3.16
N	5.38	2.26	3.08	1.52
O	3.08	1.52	3.61	-0.92
平均值	3.88	2.79	2.93	-2.69
標準偏差	1.24	1.26	1.46	1.74
有意確率	0.02		< 0.001	

IV. 考察

1. 歩数切換によるタイムおよびピッチへの影響

歩数切換における区間タイムの変化は、 switch-1, switch, switch+1 の順で有意に増加し ていた(図 7). 多くの先行研究では, 疲労などの 影響によりハードル2台目以降,ゴールにかけて 区間タイムが増加することが報告されている (Graudner and Nixdorf, 2011;欠畑ほか, 2019; 森丘ほか, 2005; 杉本ほか, 2020a, 2020b; 安井 ほか,2008). そのため,本研究でみられた switch-1, switch, switch+1 タイムの増加は,対 象者全員がハードル4台目以降で歩数切換を実 施しており、疲労などの影響によると考えられる. 一方で, switch-1, switch, switch+1 におけるピッ チの変化については、switch-1 から switch にか けて有意に増加し、その後、switch から switch+1 にかけて有意に減少していた. 走速度はストライド とピッチの積である. そのため, 歩数切換を実施 することで、switch においてストライドは減少する が,一時的にピッチを増加させることで走速度の 低下を最小限に留めていたことが考えられる. し かし、switch+1とswitch-1区間のピッチに有意な 差は認められず,同程度までピッチが減少してい た. このことから、switch+1 区間では、ストライドお よびピッチの双方が減少し、走速度の減少がみら れたと考えられる.

switch-1からswitchのタイム変化率は,switchからswitch+1のタイム変化率と比較して有意に高かった(p=0.02)(表 3).したがって,歩数切換を実施した(歩数が増加した)区間は,次の同一歩数で疾走する区間よりも有意にタイムの変化率が高かったことが明らかとなった.これは,歩数切換によるタイムの変化率は疲労によるタイムの変化率を上回っていることを示す.

したがって,歩数切換を実施することは区間タイムの増加に影響を与えている可能性が示唆された.

2. 個人内におけるパフォーマンスと歩数の関係

1) 全被験者(n = 15)

本研究において、タイプ分けを行った結果、全対象者のうち前半型の7名中5名が13歩/14歩

/15 歩の二度の歩数切換を実施する歩数戦略であったことが明らかとなった. さらに後半型の 8 名中 6 名が 14 歩/15 歩を使用する歩数戦略であった. したがって, 前半型の対象者は, 13 歩/14 歩/15 歩の二度の歩数切換を実施しており, 後半型の対象者は, 14 歩/15 歩の一度の歩数切換を実施する歩数戦略を採用していた.

2) 複数競技会出場対象者(n = 9)

複数競技会に出場した9名のうち4名が競技 会ごとで異なる歩数戦略を採用していた. そのな かで 4名中3名(B, E, I)がパフォーマンスの低か ったレースでは、パフォーマンスが高かったレース よりも早急に歩数切換を実施していた. さらにパフ オーマンスの低かったレースとパフォーマンスが高 かったレースでのタイムの変化率を比較すると3 名全員が全ハードル区間のなかで歩数切換を早 急に実施したハードル区間が最もタイムの変化率 が高く、著しくパフォーマンスが低下していたこと が明らかとなった. なお, タイプ分けでは, 3名中2 名(B, I)が前半型に分類されていた. 森丘(2006) は,前半型の選手は,スタートから H3 までの疾走 速度は高いが H3-H6 での失速がみられると報告 している. 前半型に分類された 2 名(B, I)はともに H3-H6 で歩数切換を実施していた. 本研究の結 果から,前半型の選手は,歩数切換の実施の影 響により H3-H6 で失速している可能性が考えら れる. さらに前半型の選手は後半型の選手と比 べて歩数切換の実施回数が多いため, 歩数切換 の実施による区間タイムの増加が生じ、パフォー マンス低下の影響を受けやすい可能性が示唆さ れた.

3. レースにおける歩数戦略

先行研究(森丘ほか, 2000, 2005; 安井ほか, 2008)において, H5-H8 の中盤局面の走速度がパフォーマンスに大きく影響を与えていると示唆されている中で, 本研究で対象とした対象者全員が H4-H9 で歩数切換を実施していた. 本研究の対象者は, 東京オリンピック出場者 3 名を含んだ国内トップレベルの選手であり, 日本男子 400mHのレース戦術において, 中盤局面において歩数

切換を意図的・戦術的に行うことが重要視されて いる可能性が考えられる.しかし,先行研究 (Casal et al., 2020; Ditroilo and Marini, 2001; Graudner and Nixdorf, 2011; 安井ほか, 2008)で は,歩数切換を実施することで走速度が低下す ることやパフォーマンスが高い選手は、後半局面 での歩数切換もしくは歩数切換を実施しないレー ス戦略であったことが報告されている. また, 国際 大会でも歩数切換を実施せず同一歩数で疾走し ている選手が報告されている(Casal et al., 2020; Federation, 2009; 欠畑ほか, 2019). さらに Iskra et al(2022)は, 国際大会のレース分析を実施し, 2013 年から 2017 年と 2017 年から 2021 年での レースの特徴を比較した. その結果, 2017 年か ら 2021 年では、有意にレースタイムが短縮し、パ フォーマンスが向上していることを明らかにした. さらに 2017 年から 2021 年のレースにおける歩数 は、ハードル6台目から7台目およびハードル8 台目から9台目で有意に減少していた.したがっ て,中盤局面もしくは後半局面の歩数をなるべく 少なくするレース戦略が重要であると報告してい る.

本研究の結果は, 先行研究(Casal et al., 2020; Ditroilo and Marini, 2001; Graudner and Nixdorf, 2011; Iskra et al., 2022; 安井ほか, 2008)の結果を支持するものであり、歩数切換の 実施がタイムの逓減を高め、パフォーマンスを低 下させている可能性が示唆された.しかし,歩数 切換の実施は、疲労の影響によりやむを得ず実 施している可能性も考慮しなければならない. 森 丘・山崎(2008)は、中盤局面での歩数切換実施 による速度の低下が大きいことを前提に日本トッ プ選手を対象に歩数切換区間を後半ハードル区 間に遅らせるレース戦略を試みた. その結果, 選 手の本来の特性(前半型)が弱まってしまい、本格 的なレースパターンの改善には至らなかったと報 告している. そのため, 歩数切換時の区間タイム の減少を抑える技術(ハードリング技術やインター バルのランニング技術,ペース・歩数配分など)が 400mH のパフォーマンス向上に重要であると考え られる. したがって, 歩数切換の実施区間を遅ら せることや歩数切換を実施しないレース戦略の導

入は,高い技術が求められ,難易度が高いため 選手の身体特性やレースタイプ,歩数戦略などを 総合的に考慮したうえで慎重に導入する必要が ある.

4. 限界点

本研究の限界点として、歩数切換を実施した区間を基準として、その前後の区間の比較を行ったが、対象者によって何台目で歩数切換を行ったかというタイミングが異なるため、疲労の状況が大きく異なっている可能性があり、それが結果に影響していることが考えられる。今後は、より多くの選手のデータを解析し、切換のタイミングも要因に含めて検討することが必要である。

V. 結論

本研究の目的は、日本国内男子 400mH のレース分析を通して歩数切換が区間タイムおよびピッチに与える影響を検討することであった. 本研究で得られた知見は、以下の通りである.

- 1.本研究で対象となった対象者全員がレース中盤局面において歩数切換を実施していた.
- 2.区間ピッチについては,歩数切換時区間は, 切換前区間より有意に増加し,切換後区間は, 切換時区間より有意に減少していた.また,切換 後区間は,切換前区間と同程度まで減少していた.
- 3.歩数切換を実施した区間は,次の同一歩数で 疾走する区間よりも有意にタイムの変化率が高かった.
- 4.前半型の対象者は、歩数切換の実施回数が 多いため、歩数切換によるパフォーマンス低下の 影響を受けやすい可能性が示唆された.

以上のことから、歩数切換を実施することは、タイムの増加によるパフォーマンスの低下を促進している可能性が示唆された.しかし、歩数切換の実施区間を遅らせることや歩数切換を実施しないレース戦略の導入は、選手の身体特性を考慮したうえで慎重に導入する必要がある.

参考文献

- Casal N·López JL·Peña I·Rodríguez C·Oliván J·Mateos Padorno Covadonga · Balada A · Planas A (2019) Biomechanical analysis of the men's 400 m hurdles at the iaaf world athletics championships doha 2019: rhythmic structure and effort distribution.
- Ditroilo Massimiliano Marini Maurizio (2001)
 Analysis of the race distribution for male 400m
 hurdlers competing at the 2000 Sydney Olympic
 Games. New Studies in Athletics, 16 (3):15-30.
- Federation German Athletics (2009)
 Biomechanical Analyses of Selected Events at the 12th IAAF World Championships in Athletics, Berlin, 15-23 August 2009.
 Biomechanics Report World Championships.
- Graubner Rolf Nixdorf Eberhard (2009) Biomechanical analysis of the sprint and hurdles events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. Positions, 1:10.
- Iskra Janusz Marcinów Ryszard Walaszczyk Anna (2022) CHANGES IN THE 400M HURDLE RUN STRATEGY AFTER AUGUST 3, 2021-REVOLUTION OR JUST A PROGRESS. ATLETIKA 2022:20.
- ・伊藤浩志・村木征人 (2005) スプリント走における主観的努力度の違いが疾走速度, ピッチ・ストライド, 下肢動作に及ぼす影響. コーチング学研究, 18 (1):61-73.
- ・欠畑岳・彼末一之・礒繁雄 (2019) 2019 年世 界選手権ドーハ大会男子 400m ハードルのレー ス分析: 東京オリンピックへ向けた日本選手の 課題考察. 陸上競技研究紀要, 15:116-123.
- ・森丘保典. (2006) 男子 400 m ハードルにお けるタイプ別モデルタッチダウンタイムについて. 月刊陸上競技.
- ・森丘保典・榎本靖士・杉田正明・松尾彰文・阿 江通良・小林寛道 (2005) 陸上競技 400m ハ ードル走における一流男子選手のレースパター ン分析. バイオメカニクス研究, 9 (4):196-204.

- ・森丘保典・山崎一彦 (2008) 陸上競技男子 400m ハードル走における最適レースパターン の創発:一流ハードラーの実践知に関する量的 および質的アプローチ.トレーニング科学, 20 (3):175-181.
- ・森丘保典・山崎一彦・榎本靖士 (2008) 世界 および日本一流 400m ハードル選手のレースパ ターン分析 (日本陸連科学委員会研究報告 第7巻(2008) 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2007). 陸上競技研究紀要, 4:99-103.
- ・森丘保典・杉田正明・松尾彰文・岡田英孝・阿 江通良・小林寛道 (2000) 陸上競技男子 400m ハードル走における速度変化特性と記録 との関係: 内外一流選手のレースパターンの 分析から. 体育学研究, 45 (3):414-421.
- Otsuka M. · Isaka T. (2019) Intra-athlete and inter-group comparisons: Running pace and step characteristics of elite athletes in the 400m hurdles. PLoS One, 14 (3):e0204185.
- ・杉本和那美・貴嶋孝太・柴山一仁・森丘保典 (2020a) 日本一流男女 400m ハードル選手のレースパターン分析:2019年の主要競技会について(日本陸連科学委員会研究報告 第19巻(2020)陸上競技の医科学サポート研究REPORT2020).陸上競技研究紀要,16:165-176.
- ・杉本和那美・貴嶋孝太・柴山一仁・森丘保典 (2020b) 日本一流男女 400m ハードル選手のレースパターン分析:2020年の主要競技会について(日本陸連科学委員会研究報告 第19巻(2020)陸上競技の医科学サポート研究REPORT2020).陸上競技研究紀要,16:177-194.
- ・安井年文・本道慎吾・高畠瑠衣 (2008) 400m ハードル走におけるパフォーマンスレベルによる レース分析について. 陸上競技研究, 2008 (4):12-20.