

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—欠畑岳^{1) 2)} 彼末一之²⁾ 磯繁雄²⁾

1) 早稲田大学スポーツ科学研究科 2) 早稲田大学スポーツ科学学術院

Race analysis of men's 400 m hurdles at the IAAF World Championships Doha 2019
-Consideration of Japanese athletes' challenges toward the Tokyo Olympic Games-Gaku Kakehata^{1),2)} Kazuyuki Kanosue²⁾ Shigeo Iso²⁾

1) Graduate School of Sport Sciences, Waseda University

2) Faculty of Sport Sciences, Waseda University

1. 緒言

日本の男子400mハードル(以下、400H)は、1990年代後半から2000年代前半まで、世界大会で入賞を果たしてきた。世界選手権イエテボリ大会(1995年)で山崎一彦選手が7位、エドモントン大会(2001年)とヘルシンキ大会(2005年)で為末大選手が2度銅メダルを獲得している。近年は世界大会の決勝の舞台から遠ざかっている現状があるが、日本の歴代10傑までに現役選手は3名、11~20傑までには5名と選手層は厚く(表1)、これらの選手を中心に2020年東京オリンピック(以下、東京五輪)での活躍が期待される。日本陸上競技連盟は東京五輪に向け、同種目について3位入賞を目指した、メダルターゲット種目に定め強化を進めている。

近年の世界一流選手の動向に目を向けると、2018年にA. サンバ選手(カタール)が世界歴代3位となる46.98秒(以下、sec)をマークしたことを皮切りに、2019年にはK. ワーホルム選手(ノルウェー)が世界歴代2位の46.92sec、R. ベンジャミン選手(アメリカ)が歴代3位タイの46.98secをマークし400Hのレベルは急激に高まっているといえる。2019年の世界選手権ドーハ大会には、日本からは安部孝駿選手と豊田将樹選手が出場した。両選手ともに準決勝に進出し、安部選手は決勝進出まであと0.25secに迫った。

これまでに400Hのレース分析は多く行われている(森丘ら, 2000, 2005; Yasui et al, 1996; 安

井ら, 2008; Otsuka & Isaka, 2019)。Otsuka & Isaka (2019)は世界一流選手と日本選手を対象に、同一選手における複数のレース分析の結果から、高いパフォーマンスを発揮できたレースほど、レース後半のタイム(5台目からフィニッシュ)が短いことを報告している。これは、世界一流選手、日本選手に共通する特徴であり、400Hにおいて高いパフォーマンスを発揮するためには、レース後半のパフォーマンスが重要であることを指摘している。同様に、高いパフォーマンスが発揮されたのは、ピッチあるいはストライドによるものかを個人内で検討

表1. 男子400mハードルの日本歴代10傑と20傑にランクインしている現役選手のパーソナルベスト記録

順位	記録(sec)	選手	達成年月日
1	47.89	為末大	2001/8/10
2	47.93	成迫健児	2006/5/6
3	48.26	山崎一彦	1999/5/8
4	48.34	荻部俊二	1997/10/5
5	48.41	岸本鷹幸	2012/6/9 ★
6	48.62	野澤啓佑	2016/8/15 ★
7	48.64	斎藤嘉彦	1998/10/4
8	48.65	千葉佳裕	2001/5/20
9	48.66	吉形政衡	2005/9/19
10	48.68	安部孝駿	2018/5/3 ★
13	48.92	鍛冶木峻	2019/9/22 ★
15	49.03	小西勇太	2017/6/23 ★
17	49.05	豊田将樹	2019/6/29 ★
18	49.06	前野景	2017/6/23 ★
19	49.10	松下祐樹	2016/5/8 ★

★は現役選手(2019年現在)

した結果、一様の傾向はなくピッチやストライドの重要性は個人により様々であった。つまり、エリート選手は、パフォーマンスを最大化させるためのピッチやストライドの組合せを熟考してトレーニングに臨む必要があり、選手個人に応じた課題点や強化方針を探る必要がある。本研究は、2019年世界選手権ドーハ大会を対象に、世界一流選手と日本選手との比較を通じて2020年東京オリンピックにむけ日本選手の課題点を考察する。

2 方法

2-1. 対象者

2019年世界選手権ドーハ大会男子400Hにおいて準決勝に進出した選手23名を分析対象とした(準決勝において52.01 secを要したアロウオンル選手については外れ値とみなし分析対象から除外した)。対象者23名の2019年シーズンベスト記録(SB)の平均は 48.67 ± 0.73 secであった。そのうち決勝進出を果たした8名をファイナリスト群(SB: 47.99 ± 0.80 sec)、日本選手2名を除く準決勝敗退者13名をセミファイナリスト群(SB: 49.03 ± 0.33 sec)とした。また、ワールドアスレティクス(旧:国際陸上競技連盟)のオフィシャルサイトより23名分の各ラウンドにおける公式記録(sec)を取得しトータルタイム(sec)とした。さらに、直近の主要2大会(2016年リオ五輪と2017年ロンドン世界選手権)におけるトータルタイム(sec)を同様に取得した。

2-2. 撮影方法

2019年世界選手権ドーハ大会男子400Hにおける予選、準決勝、決勝レースについて、競技場最上段より1台のデジタルビデオカメラ(DMC-FZ300, Panasonic, Japan)を用い(フレームレート:60 Hz、シャッタースピード1000 Hz)、スタートピストルの閃光を撮影した後に、全選手の10台のハードルに対するリード脚の接地の瞬間が判別できるように追従撮影を実施した。

2-3. 解析方法と分析項目

撮影した動画をPCに取り込み、動画再生ソフトウェア(Quick Time Player, Apple, USA)を用い、スタートピストルの閃光の瞬間と各ハードルにおけるリード脚の接地の瞬間の時刻を読み取った。得られた時刻とトータルタイムを基に、各インターバルにおける分析項目を以下の通り求めた。なお、400H

のスタートから1台目のハードル通過後のリード脚接地までのインターバルをS-H1と定義した。同様に、1台目のリード脚が接地した地点から2台目ハードル直後の接地までのインターバルをH1-2と定義し、3台目以降も同様にH3-4...H9-10とし、10台目のハードルからフィニッシュまでのインターバルをH10-Fと定義した。

- ①インターバルタイム(sec):各インターバルのリード脚接地の時刻(sec) - 前のインターバルのリード脚接地の時刻(sec)とした。ただし、S-H1については、{H1のリード脚が接地した時刻(sec) - スタートピストルの閃光の瞬間の時刻(sec)}とし、H10-Fについては{トータルタイム(sec) - H10のハードルのリード脚接地の時刻(sec)}とした。
- ②前半タイム(sec):S-H5までに要した時間(sec)とした。
- ③後半タイム(sec):H5-Fまでに要した時間(sec)とした。
- ④歩数(step):各インターバルに要した歩数とした。

2-4. 統計処理

予選と準決勝におけるトータルタイム、前半タイム、後半タイムの差の比較には対応のあるt検定を用いた。準決勝におけるセミファイナリスト群とファイナリスト群のインターバルタイム、歩数それぞれの差の検定には、対応のない2要因(インターバル×群)の分散分析を行った。多重比較検定にはBonferroni法を用いた。統計量の算出には統計解析ソフトウェア(SPSS statistics ver.25, IBM, USA)を使用した。有意水準はすべて5%未満とした。

3. 結果と考察

各ラウンドにおけるトータルタイムとシーズンベスト

予選の平均トータルタイムは 49.67 ± 0.31 sec、トップ通過は49.08 sec、豊田選手のマークした50.34 secまでが準決勝進出ラインであった。準決勝の平均トータルタイムは 49.17 ± 0.65 secと予選と比較して有意に短縮され($p < 0.001$)、決勝進出ラインは48.72 secだった。安部選手は48.97 secをマークし組3着となったが、全体の10番目で決勝進出はならなかった。表3には、直近の世界選手権ロンドン大会における結果(3位:48.52 sec、決勝進出:48.66 sec)と前回のリオ五輪の結

表 2. 対象者 23 名の各ラウンドにおけるトータルタイム（前半+後半）と大会前までのパーソナルベストおよびシーズンベスト

	Heat			Semi-Final			Final				
	PB	SB	S-H5	H5-F	Total	S-H5	H5-F	Total	S-H5	H5-F	Total
R.ワーホルム	46.92	46.92	21.38	27.89	49.27	20.60	27.68	48.28	20.57	26.85	47.42
K.ベンジャミン	46.98	46.98	21.61	28.01	49.62	21.23	27.29	48.52	20.80	26.86	47.66
A.サンバ	46.98	47.27	22.22	26.86	49.08	21.40	27.32	48.72	21.22	26.81	48.03
L.ベラン	48.30	48.30	21.43	28.06	49.49	21.03	28.07	49.10	-	-	-
K.マクマスター	47.54	48.33	20.88	28.72	49.60	21.20	27.20	48.40	20.64	27.46	48.10 SB
A.ドスサントス	48.45	48.45	21.75	27.91	49.66	21.48	26.87	48.35 PB	21.53	26.75	48.28 PB
Y.コペロ	47.81	48.47	21.85	27.90	49.75	21.28	27.11	48.39 SB	20.82	27.43	48.25 SB
T.J.ホームズ	48.3	48.58	21.11	28.39	49.50	20.97	27.70	48.67	20.97	27.23	48.20 PB
A.ラティン	48.66	48.66	21.69	28.03	49.72	21.73	27.47	49.20	-	-	-
K.モウアト	48.49	48.7	21.53	28.10	49.63	20.97	28.35	49.32	-	-	-
安部選手	48.68	48.80	21.57	27.68	49.25	21.32	27.65	48.97	-	-	-
P.ドベク	48.8	48.8	22.01	27.88	49.89	21.73	28.45	50.18	-	-	-
陳傑	48.92	48.92	21.38	28.57	49.95	21.27	28.73	50.00	-	-	-
A.ラオウロウ	48.62	48.95	21.57	27.97	49.54	20.93	27.74	48.67 NR	20.85	28.61	49.46
豊田選手	49.05	49.05	22.23	28.11	50.34	21.70	28.60	50.30	-	-	-
T.バー	47.97	49.11	21.74	27.67	49.41	21.33	27.69	49.02 SB	-	-	-
J.マダリ	49.13	49.13	22.03	27.59	49.62	21.73	27.98	49.71	-	-	-
L.キャンベル	49.14	49.24	21.38	28.82	50.20	21.02	28.98	50.00	-	-	-
C.マカリスト	49.28	49.28	22.03	27.70	49.73	21.83	27.36	49.18 PB	-	-	-
M.トアチ	49.29	49.29	22.27	27.49	49.76	21.88	27.26	49.14 PB	-	-	-
F.ベガ	49.32	49.32	21.95	28.00	49.95	21.62	28.34	49.96	-	-	-
V.ミュラー	49.36	49.36	21.88	28.27	50.15	21.45	28.52	49.97	-	-	-
R.マギ	48.4	49.54	21.87	27.47	49.34 SB	21.77	27.16	48.93 SB	-	-	-
平均記録(sec)	48.45	48.67	21.71	27.96	49.67	21.37 *	27.80	49.17 *	20.92	27.25	48.18
標準偏差	0.77	0.73	0.36	0.43	0.31	0.35	0.60	0.65	0.32	0.62	0.60

SBはシーズンベスト、PBはパーソナルベスト、NRはナショナルレコードを示す。
* 予選と準決勝で有意差がある($p < 0.05$)

表 3. 男子 400H ドーハ世界選手権と直近の主要 2 大会における 3 位入賞ラインと決勝進出ライン

	3位入賞	決勝進出
ロンドン世界選手権	48.52	48.66
リオ五輪	47.92	48.64
ドーハ世界選手権	48.03	48.72
3大会の平均 (東京五輪の予想タイム)	48.16	48.67

単位(sec)

果(3位: 47.92 sec、決勝進出: 48.64 sec)を示した。これら3大会の平均値を東京五輪の予想タイムとして仮定すると、東京五輪では準決勝で48.6 sec台をマークすることが決勝進出の目安となる。なお、日本歴代6-10傑が(48.62 ~ 48.68 sec)が48.6 sec台に相当する記録である。世界選手権ドーハ大会の準決勝では約3分の1に相当する7名の選手がパーソナルベスト(PB)やナショナルレコード(NR)、SBに相当する好記録をマークし、決勝では4名がタイムを短縮させていた(表2)。リオ五輪においても同様に準決勝で8名がPB、SB、NR相当の記録をマークし、着順通過者はPBが3名、SBが3名であった。準決勝は決勝に駒を進めるための重要なラウンドであるため、多くの選手が決勝

進出を目指し高いパフォーマンスを発揮しようと努めていたと考えられる。

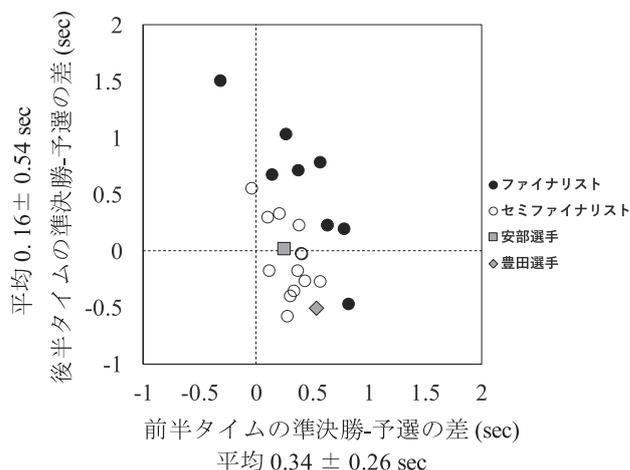


図 1. 前半タイムと後半のタイムの予選と準決勝の差

各ラウンドにおけるトータルタイムと前半タイム、後半タイムの違い

表 2 には各ラウンドにおける全対象者のSB、PB、前半タイム(S-H5までに要した時間)と後半タイム(H5-Fまでに要した時間)およびトータルタイムを示した。前半タイムおよびトータルタイムは、

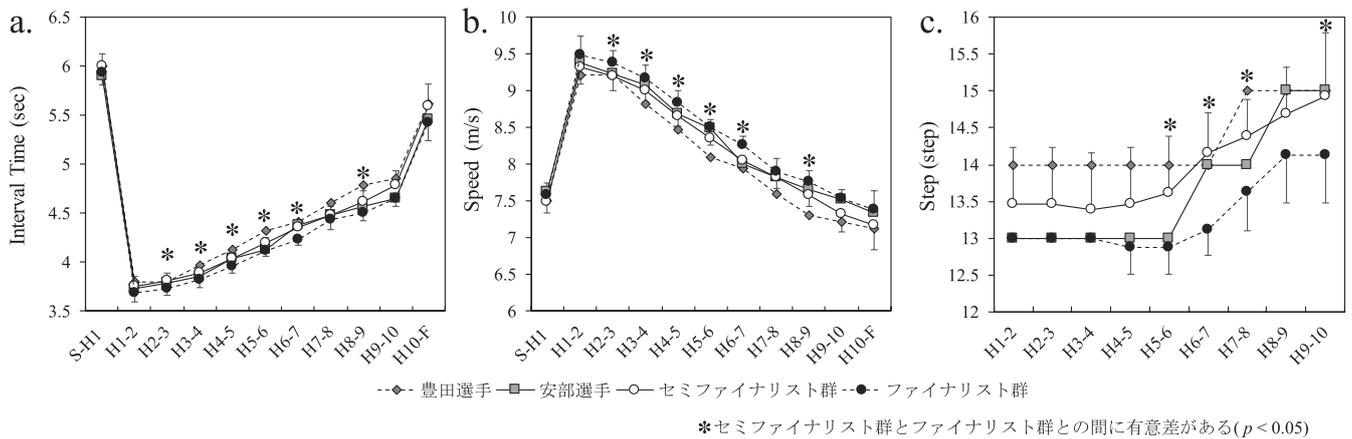


図2. 準決勝におけるインターバルタイム (a)、走速度 (b)、歩数 (c) の経時的変化

準決勝において有意に短縮された（前半タイム： $p < 0.001$ ，トータルタイム： $p < 0.001$ ）。一方、後半タイムに有意差はなかった（ $p = 0.180$ ）。また、前半タイムと後半タイムについて準決勝と予選とのタイム差をみると、前半タイム： 0.34 ± 0.26 sec、後半タイム： 0.16 ± 0.54 sec という結果を得た（図1）。準決勝で前半タイムを短縮した選手は23名中21名であったことから、準決勝では予選とは異なり多くの選手が前半からタイムを狙うレース展開に切り替えていたと考えられる。一方、後半タイムにおける予選と準決勝とのタイム差については個人差が大きく、後半タイムを短縮できた選手は12名（そのうち7名が決勝進出）で、残り11名は後半タイムを落とし、決勝進出を果たしたのはサンバ選手のみであった。両タイムともに短縮できた選手は10名で、安部選手（前半タイム：0.25 sec，後半タイム：0.03 sec）も同様であった。豊田選手（前半タイム：0.53 sec，後半タイム：-0.49 sec）は準決勝で前半から積極的にレースを進めていたものの、後半タイムは予選より大きく低下していた。Otsuka & Isaka (2019) は、同一選手における複数の400Hのレース分析の結果、高いパフォーマンスを発揮できたレースでは後半タイムが短いことを報告しており、本研究の結果より準決勝で後半タイムを改善した選手12名のうち7名が決勝進出者であったことも考え合わせると、特に後半タイムが個人のパフォーマンスを高めるうえで重要になると考えられる。

インターバルタイム（走速度）の経時的変化と日本選手と世界一流選手との比較

図2には準決勝におけるインターバルタイム、インターバル走速度の経時的変化を示した。先行研究（森丘ら2000, 2005; 安井ら, 2008）と同様にイン

ターバル走速度はH1-2において最大値に達したあと漸減した（図2a, b）。競技レベルの高い選手は、H1-2におけるインターバル走速度が高いことが報告されているが（森丘ら2000, 2005; Yasui et al., 1996）、本研究ではファイナリスト群とセミファイナリスト群との間に有意差は認められなかった。この要因として、本研究は世界選手権の準決勝レースにおける数値を比較した結果であり、シーズンベストを対象として比較検討した先行研究とは異なる分析方法であることが一因として考えられる。

また、インターバルタイムは、H2-7およびH8-9においてファイナリスト群とセミファイナリスト群に有意差が認められた（H2-3: $p = 0.049$, H3-4: $p = 0.039$, H4-5: $p = 0.015$, H5-6: $p = 0.003$, H6-7: $p = 0.001$, H8-9: $p = 0.017$ ）。同様にインターバル走速度はH2-7およびH8-9において群間に有意差が認められた（H2-3: $p = 0.049$, H3-4: $p = 0.037$, H4-5: $p = 0.015$, H5-6: $p = 0.002$, H6-7: $p = 0.001$, H8-9: $p = 0.019$ ）。森丘ら(2000)は、世界一流選手のレース分析の結果、400Hのレース中盤にあたるH5-8区間に要したタイムがトータルタイムと強く相関したことから、レース中盤の走速度を高める（維持させる）ことの重要性を報告している。本研究も、中盤に相当するH5-7区間のインターバルタイムに有意な群間差が認められたことから、ファイナリスト群とセミファイナリスト群とのトータルタイムの差は主にレース中盤によるものが要因であったと考えられる。そもそも、陸上競技のトラック種目はタイムを争う種目であるため、いずれの局面においても高い走速度を獲得することが最も重要であることは言うまでもないが、インターバルタイムについて、日本選手2名も併せて比較すると、安部選手の場合は、H5-6まではファイナリスト群と遜色ないがH6-7で0.14 sec、H8-9で0.07

表 4. 準決勝におけるインターバルタイム（上段がファイナリスト群 8 名、中段がセミファイナリスト群 13 名、下段が日本選手 2 名）および決勝におけるインターバルタイムの一覧

Semi-Final	S-H1	H1-2	H2-3	H3-4	H4-5	H5-6	H6-7	H7-8	H8-9	H9-10	H10-F	Total Time
R.ワーホルム	5.73	3.60	3.67	3.74	3.86	4.08	4.23	4.33	4.64	4.73	5.68	48.28
A.ドスサントス	6.12	3.72	3.84	3.83	3.98	4.07	4.20	4.37	4.52	4.60	5.12	48.35
Y.コペロ	5.97	3.69	3.80	3.86	3.97	4.12	4.20	4.42	4.38	4.67	5.32	48.39
K.マクマスター	5.88	3.88	3.75	3.78	3.90	4.05	4.18	4.43	4.50	4.62	5.42	48.40
K.ベンジャミン	5.82	3.65	3.77	3.93	4.07	4.14	4.18	4.32	4.44	4.61	5.60	48.52
T.J.ホームズ	5.90	3.59	3.69	3.77	4.02	4.19	4.29	4.60	4.54	4.79	5.29	48.67
A.ラオウロウ	6.05	3.62	3.63	3.73	3.90	4.12	4.33	4.52	4.58	4.63	5.56	48.67
A.サンバ	6.00	3.78	3.73	3.90	3.99	4.17	4.27	4.47	4.45	4.57	5.40	48.72
ファイナリスト群平均 (n = 8)	5.93	3.69	3.73	3.82	3.96	4.12	4.23	4.43	4.51	4.65	5.42	48.50
標準偏差	0.13	0.10	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06	0.10	0.08	0.08	0.19	0.17
R.マギ	6.15	3.79	3.83	3.93	4.07	4.20	4.37	4.38	4.47	4.53	5.21	48.93
T.バー	5.87	3.75	3.82	3.87	4.03	4.13	4.38	4.43	4.55	4.68	5.50	49.02
L.ペラン	6.00	3.59	3.71	3.78	3.95	4.14	4.35	4.46	4.68	4.79	5.64	49.10
M.トアチ	6.20	3.84	3.88	3.88	4.08	4.18	4.22	4.35	4.48	4.65	5.37	49.14
C.マカリスター	6.13	3.83	3.88	3.92	4.06	4.19	4.32	4.47	4.52	4.62	5.25	49.18
A.ラティン	5.93	3.78	3.93	4.02	4.08	4.17	4.38	4.37	4.61	4.58	5.37	49.20
K.モウァト	5.93	3.64	3.68	3.80	3.92	4.18	4.28	4.49	4.62	4.88	5.90	49.32
J.マダリ	5.95	3.87	3.87	3.95	4.10	4.18	4.27	4.42	4.63	4.88	5.59	49.71
F.ペガ	5.93	3.85	3.86	3.98	4.00	4.18	4.40	4.48	4.67	4.90	5.71	49.96
V.ミュラー	6.08	3.75	3.73	3.83	4.05	4.16	4.44	4.62	4.70	4.87	5.74	49.97
陳傑	-	-	3.78	3.85	4.05	4.28	4.43	4.62	4.75	4.90	-	50.00
L.キャンベル	5.82	3.65	3.70	3.83	4.02	4.23	4.41	4.61	4.73	5.01	6.00	50.00
P.ドベク	6.08	3.76	3.83	3.92	4.15	4.26	4.33	4.48	4.63	4.95	5.80	50.18
セミファイナリスト群平均 (n = 13)	6.01	3.76	3.81	3.89	4.04	4.19	4.35	4.48	4.62	4.79	5.59	49.52
標準偏差	0.12	0.09	0.08	0.07	0.06	0.04	0.07	0.09	0.09	0.16	0.25	0.46
安部選手	5.90	3.73	3.79	3.86	4.03	4.13	4.38	4.48	4.58	4.65	5.45	48.97
豊田選手	6.00	3.80	3.80	3.97	4.13	4.33	4.41	4.61	4.79	4.85	5.62	50.3
全体平均 (n = 23)	5.98	3.74	3.78	3.87	4.02	4.17	4.32	4.47	4.59	4.74	5.53	49.19
標準偏差	0.12	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.09	0.09	0.11	0.14	0.23	0.65
Final	S-H1	H1-2	H2-3	H3-4	H4-5	H5-6	H6-7	H7-8	H8-9	H9-10	H10-F	Total Time
R.ワーホルム	5.75	3.54	3.64	3.75	3.88	4.00	4.12	4.23	4.49	4.61	5.41	47.42
K.ベンジャミン	5.78	3.57	3.68	3.80	3.97	4.04	4.17	4.23	4.33	4.58	5.53	47.66
A.サンバ	5.97	3.68	3.75	3.87	3.95	4.07	4.23	4.33	4.45	4.50	5.23	48.03
K.マクマスター	5.75	3.58	3.69	3.76	3.86	4.03	4.18	4.40	4.47	4.77	5.62	48.10
T.J.ホームズ	6.00	3.63	3.73	3.72	3.88	4.10	4.28	4.42	4.72	4.62	5.10	48.20
Y.コペロ	5.87	3.63	3.67	3.77	3.88	4.02	4.24	4.42	4.48	4.77	5.52	48.25
A.ドスサントス	6.07	3.82	3.88	3.83	3.94	4.01	4.18	4.23	4.43	4.60	5.31	48.28
A.ラオウロウ	6.02	3.58	3.63	3.73	3.88	4.13	4.39	4.58	4.78	4.95	5.78	49.46
ファイナリスト群平均 (n = 8)	5.90	3.63	3.71	3.78	3.91	4.05	4.22	4.35	4.52	4.67	5.44	48.18
標準偏差	0.13	0.09	0.08	0.05	0.04	0.05	0.09	0.12	0.15	0.14	0.22	0.60

単位(sec) - は不可抗力により分析ができなかった区間を示す。

sec 差が開き、豊田選手の場合は、H4-5 以降において約 0.2 sec ずつファイナリスト群から後れを取り、セミファイナリスト群とは H7-9 におけるタイム差が大きかった（表 4）。

歩数の経時的変化

400H は 400m 走の基本的な走力 (Przednowek, 2017) に加えて、35m 間隔に設置されたハードルをクリアするためのハードリング技術、インターバル間をスムーズに走るためのピッチやストライドの調節すなわち歩数の切り替えが求められる。そのため、インターバル間の歩数選択は 400H の戦略を考慮するうえで重要な要因である。そこで、図 2c に準決勝における歩数の経時的変化を、表 5 には準決勝および決勝における各インターバルに要した歩数について示した。また、準決勝と決勝におけるすべての対象者のインターバルタイムと歩数の関係を図 3a に、各インターバルにおける歩数の人数を図 3b に

それぞれ示した。図 3b より、多くの選手が H4-5 までのインターバルにおいて 13 step をベースとし、H5-6 付近から徐々に増加させていくことがわかる。このことは、H5-8 において 74% の選手が歩数を切り替えていたという報告 (森丘ら, 2005) を支持する結果である。また、400m 走のレース後半は疲労の影響や運動中のエネルギー供給系が変化し走速度も低下していくため (Nummela et al., 1992; Hirvoen et al, 1992)、400H においても同様の理由で、レース後半では大きなストライド (少ない歩数) を維持させることが困難になり歩数を増やさざるを得なかったと推察される。

図 2c より、ファイナリスト群はセミファイナリスト群より有意に少ない歩数でレースを進めていた (H5-6: $p = 0.002$, H6-7: $p < 0.001$, H7-8: $p = 0.004$, H9-10: $p = 0.036$)。この結果は、森丘ら (2005) が報告しているように、47 ~ 49 sec 台の選手のレース分析の結果から、歩数を減らすこと

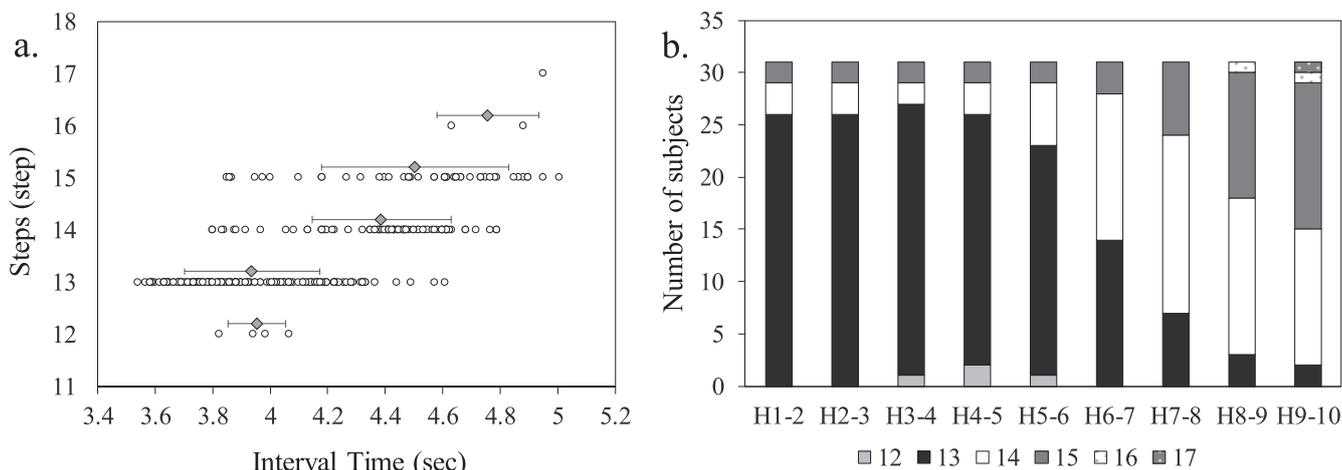


図 3. 準決勝と決勝におけるインターバルタイムと歩数の関係 (a) と各インターバルで選択した歩数の人数 (b)

がパフォーマンスの改善に有効である可能性を支持するものである。ただし、競技レベルが高くなるとインターバル間に要する歩数は 13 step が最小値となるため、競技レベルが高くなるほど歩数の差は小さくなることが指摘されている (森丘ら, 2005)。本研究では例外的に A. ドスサントス選手 (ブラジル) が 12 step で走っていたが (表 5)、ファイナリスト群はドスサントス選手以外のすべての選手が H5-6 まで 13 step を、セミファイナリスト群も多くの選手が H5-6 まで 13 step を選択し、14 step や 15 step を選択した選手はわずかであった。

インターバルタイムと歩数の関係とその個人差について

400H におけるインターバルの歩数選択はピッチとストライドに影響するため、インターバルタイムを含め個人に適切な歩数選択を考慮する必要がある。そこで、歩数とインターバルタイムの関係を図 3a に示した。13 step を選択した際のインターバルタイムの平均は 3.94 ± 0.23 sec、同様に 14 step を選択した際には 4.39 ± 0.24 sec、15 step では 4.50 ± 0.33 sec という結果から、全体平均で考えた場合、短いインターバルタイムは少ない歩数により達成されている関係にあると考えられる。実際、3.80 sec 以内のインターバルタイムはすべて 13 step により達成されており (図 3a)、加えてファイナリスト群の準決勝における平均のインターバルタイムが、H1-4 まで $3.69 \pm 0.10 \sim 3.82 \pm 0.07$ sec であることから (表 4)、ファイナル進出のためには H1-4 までを 3.80 sec 以内で通過することが一つの目安になると考えられる。したがって、3.80 sec 以内のインターバルタイムを実現するためには

ファイナリスト群の多くが採用している 13 step を扱う戦略が必要となる可能性が考えられる。

ただし、400H において幅広い競技レベルの対象者を分析した結果から「歩数を減らすこと」はパフォーマンスを向上させる要因であると考えられているものの、その一方で競技レベルが高い対象者内 (48.34 sec \sim 49.90 sec) で考慮した際には、歩数とパフォーマンスの関係はみられないことも報告されている (安井ら, 2008)。本研究も世界選手権の準決勝を対象にしていることから、競技レベルが近い対象者による結果とみなすことができるため、歩数の違いが直接的にパフォーマンスの違いを生じさせる要因かどうか、その解釈には注意が必要である。例えば、これまでの短距離走に関する研究においても、走速度を最大化させるためのピッチおよびストライドの組合せは選手個人により異なることが示されているように (Kakehata et al., 2020; Salo et al., 2011)、400H も同様にその個人に応じた適切なピッチとストライドの優位性が存在する (Otsuka & Isaka 2019)。本研究においても、選手個人で様々な歩数選択の戦略が読み取れた。

例えば、7 位入賞のドスサントス選手は準決勝で H1-4 までを 13 step、H4-6 を 12 step で走り、その後 H6-8 を 13 step に戻し、それ以降を 14 step で走るという他選手には見られない特異的な歩数選択をしていた (表 5)。H4-6 は直走路に相当し、曲走路よりも高い走速度を獲得しやすい局面であると考えられ、ドスサントス選手にとって走速度を最大化させるための最適な歩数 (ピッチとストライドの組合せ) が 12 step だったと推察される。さらにドスサントス選手は 12 step を扱うインターバルを準決勝と決勝で変化させていた。また、6 名の選手が

表 5. 準決勝における歩数（上段がファイナリスト群 8 名、中段がセミファイナリスト群 13 名、下段が日本選手 2 名）および決勝における歩数の一覧

Semi-Final	H1-2	H2-3	H3-4	H4-5	H5-6	H6-7	H7-8	H8-9	H9-10
R.ワーホルム	13	13	13	13	13	13	13	15	15
A.ドスサントス	13	13	13	12	12	13	13	14	14
Y.コペロ	13	13	13	13	13	14	14	15	15
K.マクマスター	13	13	13	13	13	13	14	14	14
K.ベンジャミン	13	13	13	13	13	13	13	13	13
T.J.ホームズ	13	13	13	13	13	13	14	14	14
A.ラオウロウ	13	13	13	13	13	13	14	14	14
A.サンバ	13	13	13	13	13	13	14	14	14
ファイナリスト群平均 (n=8)	13.0	13.0	13.0	12.9	12.9	13.1	13.6	14.1	14.1
標準偏差	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6
R.マギ	13	13	13	13	13	14	14	14	14
T.バー	13	13	13	13	13	14	14	14	14
L.ベラン	13	13	13	13	13	14	14	14	14
M.トアチ	14	14	13	14	14	14	14	15	15
C.マカリスト	14	14	14	14	14	15	15	15	15
A.ラティン	13	13	13	13	13	14	14	14	14
K.モウアト	13	13	13	13	14	14	15	15	15
J.マダリ	15	15	15	15	15	15	15	16	16
F.ベガ	15	15	15	15	15	15	15	15	15
V.ミュラー	13	13	13	13	13	14	14	15	15
陳傑	13	13	13	13	13	14	14	15	15
L.キャンベル	13	13	13	13	14	14	15	15	15
P.ドベク	13	13	13	13	13	13	14	14	17
セミファイナリスト群平均 (n=13)	13.5	13.5	13.4	13.5	13.6	14.2	14.4	14.7	14.9
標準偏差	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.5	0.6	0.9
安部選手	13	13	13	13	13	14	14	15	15
豊田選手	14	14	14	14	14	14	15	15	15
全体平均 (n=23)	13.3	13.3	13.3	13.3	13.4	13.8	14.1	14.5	14.7
標準偏差	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8
Final	H1-2	H2-3	H3-4	H4-5	H5-6	H6-7	H7-8	H8-9	H9-10
R.ワーホルム	13	13	13	13	13	13	13	13	15
K.ベンジャミン	13	13	13	13	13	13	13	13	13
A.サンバ	13	13	13	13	13	13	13	14	14
K.マクマスター	13	13	13	13	13	14	14	14	14
T.J.ホームズ	13	13	13	13	13	13	14	14	14
Y.コペロ	13	13	13	13	13	13	14	14	15
A.ドスサントス	13	13	12	12	13	13	13	14	14
A.ラオウロウ	13	13	13	13	14	14	15	15	15
ファイナリスト群平均 (n=8)	13.0	13.0	12.9	12.9	13.1	13.3	13.6	13.9	14.3
標準偏差	0.0	0.0	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.6	0.7

単位(step)

準決勝と決勝とで扱う歩数を変化させていたことから、世界一流選手はラウンドに応じて歩数を柔軟に変化させることで、インターバルタイムを調節させていた可能性が考えられる。反対に、準決勝における F. ベガ選手（メキシコ）と準決勝と決勝における K. ベンジャミン選手（アメリカ）は歩数の切り替えをせず、レース全体を通じて同じインターバル歩数であった。また、インターバル歩数が偶数となる場合、リード脚は直前のインターバルと反対脚となるため逆脚でのハードリングが強いられる。そのため、逆脚によるハードリングが不得意な選手は 13 step から 14 step を経ずに 15 step を選択していた可能性も考えられたが、そのような戦略を取っていたと考えられるのは、優勝したワーホルム選手、

唯一であった（表 5）。

日本選手 2 名について示すと、安部選手の場合、H1-6 までを 13 step、H6-8 では 14 step、H8-10 において 15 step を選択し、豊田選手の場合、H1-7 までを 14 step、H7-10 は 15 step を選択していた。本研究の結果から、ファイナリスト群はセミファイナリスト群より有意に少ない歩数選択をしており（図 2c）、さらに 3.80 sec 以内のインターバルタイムを達成するためには 13 step が必要であることが示唆されることから（図 3a）、レース序盤は従来の 14 step でなく 13 step とすることや、H5-6 以降に少ない歩数選択をすることも視野に入れた戦略が有効である可能性がある。ただし、安部選手、豊田選手に最適な歩数については本研究の結果だけで結論

付けることは不可能である。本研究の結果から、レース中に歩数の切換えを行わなかった選手、レース途中で12 stepを選択した選手、逆脚を使わないような歩数選択をした選手、ラウンドごとに柔軟に歩数を変化させた選手など様々な戦略が存在することが確認された。そのため、単に歩数を少なくすることが重要ではなく、まず目標となるトータルタイムから各インターバルの目標タイムを設定し、その目標タイムで走るために必要となる歩数を、個人に最適なピッチとストライドの関係を考慮しながら決定すべきといえる。

4. まとめ

本研究は、2019年世界選手権の男子400mハードルを対象に、世界一流選手のレースパターンの解明と、日本選手2名の比較を通して2020年東京五輪にむけ日本選手が世界の決勝の舞台で入賞を果たすための課題を考察することを目的とした。しかし、本研究の結果は単一のレース分析の結果であり、世界一流選手と日本選手との違いをすべて日本選手の課題として断言できるものではない。本研究で得られた知見は以下の通りである。

- ・本研究の結果と直近の主要大会の傾向から、決勝進出ラインは48.6 sec台がおおよその目標であると考えられる。
- ・インターバルタイムとインターバル走速度はH2-7およびH8-9においてファイナリスト群とセミファイナリスト群に有意差が認められた。安部選手の場合、H6-7で0.14 sec、H8-9で0.07 sec差が開き、豊田選手の場合、H4-5以降において約0.2 secずつファイナリスト群から後れを取り、セミファイナリスト群とはH7-9における差が大きかった。
- ・H5-8およびH9-10において、ファイナリスト群はセミファイナリスト群より有意に少ない歩数を選択しており、3.80 sec以内のインターバルタイムはすべて13 stepにより達成されていたことからレース序盤では13 stepを採用した戦略が有効である可能性がある。ただし、歩数選択を考慮する際には、選手個人に最適なピッチとストライドの組合せが存在することに留意する必要がある。

参考文献

Hirvonen J, Nummela A, Rusko H, Rehunen S, &

Härkönen M. (1992) Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Can J Sport Sci.* 17(2): 141-144.

Kakehata, G., Kobayashi, K., Matsuo, A., Kanosue, K., & Iso, S. (2020). Relationship between subjective effort and kinematics/kinetics in the 50 m sprint. *Journal of Human Sport and Exercise*, 15(1): 52-66. doi:10.14198/jhse.2020.151.06

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: 414-421.

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.

Nummela A, Vuorimaa, Rusko H. (1992) Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint. *J Sports Sci.* 10(3): 217-228.

Otsuka M, Isaka T. (2019) Intra-athlete and inter-group comparisons: Running pace and step characteristics of elite athletes in the 400-m hurdles. *PLoS ONE* 14(3) e0204185.

Przednowek K, Iskra J, Wiktorowicz K, Krzeszowski T, Maszczyk A. (2017) Planning training loads for the 400 m hurdles in three-month mesocycles using artificial neural networks. *J Hum Kinet.* 60. 175-189.

Salo AIT, Bezodis IN, Batterham AM, Kerwin DG. (2011) Elite sprinting: are athletes individually step-frequency or step-length reliant? *Med Sci Sports Exerc.* 43(6): 1055-1062.

Yasui T, Aoyama K, Ogiso K, Asaba K, Ogura Y. (1996) The study of the model interval time in 400m hurdle race for men. In: Abrantes JMCS, editor. *Proceedings 14th International Symposium of Biomechanics in Sports*; pp. 77-81.

安井年文, 本道慎吾, 高嶋瑠衣, 青山清英, 一川大輔, 遠藤俊典 (2008) 400 m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*. 75(4):12-21.