

女子三段跳における助走スピードと各歩の跳躍距離 および跳躍比とパフォーマンスとの関係

柴田 篤志¹⁾ 清水 悠²⁾ 小山 宏之³⁾

Atsushi Shibata¹, Yutaka Shimizu² and Hiroyuki Koyama³: Relationships between performance and the run-up speed, phase distances and ratios in the female triple jump. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.

Abstract: The aim of this study was to clarify the relationships between performance in the female triple jump and the run-up speed, phase distances and ratios, in order to propose basic target values corresponding to performance level. The subjects were 100 female triple jumpers (official record: 15.20—11.23 m) who participated in the World Championships (WC) and competitions held in Japan. They were divided into 5 groups based on the effective jumping distance (15G: ≥ 15.00 m, 14G: 14.00—14.99 m, 13G: 13.00—13.99 m, 12G: 12.00—12.99 m, 11G: ≤ 11.99 m). The run-up speed and phase distances in the WC were collected with reference to previous reports of the WC trials, and those of the Japanese competitions trials were measured using a laser distance measurement device (LAVEG) and a high-speed camera. The result of correlation analysis revealed that significant positive correlations were found between performance and the maximal run-up speed ($r=0.878$) and phase distances ($r=0.826-0.907$). However, phase ratios were not correlated with performance ($r=-0.110-0.082$). Comparison of the 5 groups revealed that 15G, which represents world elite level, developed performance by significantly extending the jump distance, although the hop and step distances were not different from those of 14G. In 13G representing Japanese elite level, performance was developed by significantly extending the hop and step distances relative to 12G, and the step distance in 13G was as long as that in 14G. On the other hand, the hop and jump distances in 13G were not as long as those in 14G. These results suggest that the run-up speed and phase distances are important factors for development of performance, although the strategy for acquiring the jumping distance in each phase differs with performance level.

Key words: triple jump, female athlete, performance level, target value

キーワード：三段跳，女子競技者，パフォーマンスレベル，目標値

I 緒言

三段跳は助走からの連続したホップ、ステップ、ジャンプそれぞれの跳躍の合計距離を競う種目である。女子三段跳は世界選手権で採用されたのが1993年、オリンピックに採用されたのが1996年

と他の種目と比べるとその歴史が浅い種目である。現在の女子三段跳の世界記録は15.50mであるのに対して、日本記録は1999年に樹立された14.04mであり、約20年近く更新されていない。さらに、日本歴代2位の記録は13.52m(2016年)と日本記録から大きく離れている。また、オリンピックや世界選手権といった世界大会への参加標

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
2) 島根大学人間科学部
〒690-8504 島根県松江市西川津町 1060
3) 京都教育大学教育学部
〒612-8522 京都府京都市伏見区深草藤森町 1
連絡先 柴田篤志

1. Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574
2. Faculty of Humans Sciences, Shimane University
1060 Nishi-Kawatsu, Matsue, Shimane, 690-8504
3. Faculty of Education, Kyoto University of Education
1 Fukakusa Fujinomori, Fushimi-ku, Kyoto, Kyoto, 612-8522
Corresponding author atsushi.s1j@gmail.com

準記録をみても、14.15 m (2016年リオデジャネイロオリンピック)、14.10 m (2017年世界陸上競技選手権ロンドン大会)と、世界大会に出場するためには日本記録の更新が必須である。つまり、日本における女子三段跳の現状は、世界と比べるとその競技レベルは低く、近年も競技レベルが停滞している種目であると考えられる。一方で、2017年度から全国高等学校総合体育大会(インターハイ)において正式種目として採用されており、今後の日本国内においてはU20(ジュニア)世代での競技人口の増加や、それに伴う競技力の向上が予想されている種目でもあるといえる。

女子の三段跳を対象とした研究は男子と比較すると少ないが、世界選手権の出場者を対象とした研究では世界一流競技者の身体重心速度やホップ、ステップ、ジャンプの跳躍距離やその比率などについて報告されている(Bae, 2011; Brüggemann and Arampatzis, 1997; Mendoza and Nixdorf, 2011; Tucker et al., 2018)。日本の競技者を対象とした研究では、助走スピードについての報告は多く行われており(小山ほか, 2006, 2007)、踏切局面の身体重心速度や跳躍距離については、築野ほか(2012)が世界一流(14.90 ± 0.54 m)、日本上位(13.51 ± 0.36 m)および日本下位(12.50 ± 0.25 m)に該当する競技レベルの競技者を対象として、日本の女子三段跳競技者における踏切準備局面から踏切局面にかけての技術的課題を指摘している。しかし、先述した先行研究では対象とする競技者の競技レベルが限定されており、パフォーマンスと助走スピードや各歩の跳躍距離といった基礎的なパラメータとの関係について、幅広い競技レベルにわたって横断的に検討した研究はみられない。そのため、目標とする記録に対してどの程度の助走スピードが必要か、ホップ、ステップ、およびジャンプの各歩でどの程度の跳躍距離を獲得する必要があるかといった客観的なデータは存在しないと考えられる。つまり、世界一流競技者から日本のU20競技者までに該当する広範囲のパフォーマンスレベルの競技者を対象として、パフォーマンスと基礎的なパラメータとの関係について明らかにし、日本の女子三段跳競技者

やU20世代の競技者に対して、目標とするパフォーマンスに対して求められる助走スピードや各歩の跳躍距離の客観的な目標値を提案することができれば、今後のパフォーマンス向上のための手がかりとなる可能性があるといえる。

そこで、本研究では女子三段跳競技者を対象として、パフォーマンスと助走スピードおよび各歩の跳躍距離と跳躍比との関係性について検討し、各パラメータの特徴を明らかにするとともに、女子三段跳競技者の競技レベルに応じた基礎的なパラメータの目標値を提案することを目的とした。

II 方法

1. 対象者および分析試技

本研究では、2016年から2018年にかけて日本国内で行われた計13競技会ならびに、1997年、2009年、2011年および2017年に行われた世界選手権に出場した女子三段跳競技者100名を対象者とした。また、分析試技は各対象者のすべての試技(追い風参考記録も含む)の中から最も記録の良かった試技かつ、先行研究を参考に年度最高記録に対する達成率が96%を上回ったものとし(村木, 1994)、同一競技者が重複することのないようにした。

さらに、後述する分析試技の実測距離から、対象者を実測距離が15 m以上の群(15 G)、14 m以上15 m未満の群(14 G)、13 m以上14 m未満の群(13 G)、12 m以上13 m未満の群(12 G)および12 m未満の群(11 G)の5群に分類した。Table 1は各群の公式記録、踏切損失距離、実測距離および分析試技の自己最高記録ならびに年度最高記録に対する達成率を示している。なお、追い風参考記録を分析試技に含むため、自己最高記録またはシーズン最高記録に対する達成率が100%を上回っている分析試技がある。

2. データ収集

日本国内で行われた競技会では、小山ほか(2017)と同様の方法を用いて、出場競技者の全ての試技を助走路側方のスタンド上段に設置し

Table 1 Characteristics of subjects and groups.

	n	Official record (m)	Take-off loss (m)	Effective distance (m)	%PB (%)	%SB (%)
All	100	13.13±1.05 (15.20-11.23)	0.09±0.06 (0.25-0.00)	13.21±1.06 (15.27-11.29)	97.7±2.4 (101.3-89.7)	99.1±1.3 (102.0-96.1)
15G	6	15.01±0.14 (15.20-14.89)	0.12±0.07 (0.25-0.07)	15.13±0.11 (15.27-15.02)	99.2±0.9 (100.0-97.6)	99.8±0.2 (100.0-99.5)
14G	27	14.32±0.25 (14.89-13.91)	0.10±0.07 (0.25-0.00)	14.41±0.26 (14.92-14.00)	97.0±1.9 (100.0-93.5)	98.9±1.3 (100.0-96.2)
13G	16	13.25±0.33 (13.93-12.83)	0.08±0.05 (0.18-0.01)	13.33±0.32 (13.96-13.00)	98.3±2.2 (101.0-92.9)	99.6±1.1 (101.0-96.5)
12G	43	12.35±0.25 (12.84-11.99)	0.07±0.06 (0.25-0.00)	12.42±0.26 (12.86-12.03)	98.4±2.3 (101.3-90.4)	99.3±1.2 (101.3-96.1)
11G	8	11.65±0.24 (11.89-11.23)	0.10±0.05 (0.20-0.06)	11.75±0.24 (11.95-11.29)	94.3±2.4 (97.3-89.7)	97.4±1.2 (100.0-96.2)

た1台のハイスピードカメラ（Panasonic 社製、LUMIX FZ-300）を用いて三段跳の踏切板から砂場の助走路側の端を画角として120 fpsで固定撮影した。また、全ての試技で助走路前方スタンドに設置したレーザー式速度測定装置（JENOPTIK 社製、LDM301）を用いて対象者の助走開始から着地までの位置情報を100 Hzで収集した。なお、これらのデータ収集の一部は日本陸上競技連盟科学委員会の活動として行われたものであり、全ての競技会において事前に競技会主催者に撮影許可を得た上でデータ収集を行った。

世界選手権におけるデータは、先行研究から1997年アテネ大会（Brüggemann and Arampazis, 1997）、2009年ベルリン大会（Mendoza and Nixdorf, 2011）、2011年テグ大会（Bae, 2011）および2017年ロンドン大会（Tucker et al., 2018）の報告を用いた。

3. データ処理および算出項目

日本国内で行われた競技会における分析試技については、ホップ、ステップおよびジャンプの各歩の接地時の支持脚つま先をビデオ動作分析システム（DKH 社製、Frame-DIAS V）を用いてデジタイズした。さらに、各競技会の前に撮影した実空間座標値が既知の4点のコントロールポイント（踏切板のファールライン両端2点および砂場と助走路の交点2点）を用いて、2次元DLT法により各歩の接地時のつま先の2次元座標値を

得た。なお、2次元座標は踏切板のファールライン左先端を原点とし、進行方向右向きをx軸方向、進行方向をy軸方向とした。また、レーザー式速度測定装置によって得られた各分析試技における対象者の位置情報は Butterworth low-pass digital filter を用いて0.5 Hzで平滑化し（小山ほか, 2012; Muraki et al., 2009）、平滑化後の位置情報を時間微分することによって助走スピードを算出した。

以上のデータから下記の項目を算出した。

①踏切損失距離

ファールラインからホップにおける支持脚つま先までのy軸方向の距離を踏切損失距離とした。

②実測距離

公式記録に踏切損失距離を加算した距離を実測距離とした。

③各歩（ホップ・ステップ・ジャンプ）の跳躍距離

ホップおよびステップの跳躍距離は各跳躍における支持脚つま先間のy軸方向の距離とし、ジャンプ距離は実測距離からホップおよびステップの跳躍距離を減算した距離とした。

④ホップーステップ距離

ホップーステップ距離はホップにおける支持脚つま先からジャンプにおける支持脚つま先間のy軸方向の距離とした。

⑤各歩の跳躍比

実測距離に対する各歩の跳躍距離の割合を各歩

の跳躍比とした。

⑥ホップステップ比

ホップの跳躍距離に対するステップの跳躍距離の割合をホップステップ比とした。

⑦助走の最高スピード

助走の最高スピードは助走開始からホップの離地までの間における最高スピードとした。

また、世界選手権におけるデータについては上記の報告から算出項目①—⑥を算出した。

助走の最高スピードについて、世界選手権における報告では日本国内で行われた競技会と同様のレーザー式速度測定装置から算出した助走の最高スピードに関するデータはみられない。そこで、本研究における世界選手権の分析試技では、踏切2歩前または踏切1歩前における身体重心水平速度のうち、より高値のものを助走の最高スピードとした。なお、Muraki et al. (2009) はレーザー式速度測定装置から算出した世界一流女子三段跳競技者における助走の最高スピード出現地点は踏切板から 3.75 ± 0.77 m (5.64—2.64 m) の地点であることを報告しており、さらに、Tucker et al. (2018) が世界一流女子三段跳競技者の踏切2歩前の接地位置が 4.37 ± 0.28 m (4.75—3.88 m)、踏切1歩前の接地位置が 2.16 ± 0.15 m (2.45—1.90 m) であることを報告している。つまり、世界一流競技者では踏切2歩前から1歩前にかけての区間で助走の最高スピードが出現しており、算出方法は異なるものの踏切2歩前または1歩前における身体重心水平速度の最大値は助走の最高ス

ピードと比較しても差は小さく、助走の最高スピードに代用可能であると考えられる。

4. 統計処理

全ての算出項目は平均値±標準偏差で示した。統計処理には IBM SPSS Statistics 24 (IBM 社製) を使用し、各算出項目の関係性について検討するためにピアソンの積率相関係数を算出した。また、各群の算出項目の比較には対応のない一元配置分散分析を行い、F 値が有意であった項目については Scheffe 法による多重比較を行った。さらに、各算出項目を従属変数、実測距離を独立変数とする単回帰分析を行い、直線回帰式を算出した。なお、いずれの統計処理においても有意水準は 5% 未満とした。

III 結果

Fig.1 は実測距離と助走の最高スピードとの関係を示している。実測距離と助走の最高スピードとの間には強い正の相関関係が認められた ($r=0.878$, $p<0.01$)。

Fig.2 は実測距離と各歩の跳躍距離およびホップステップ距離との関係を示している。実測距離はいずれの跳躍距離とも強い正の相関関係が認められ、ホップ距離 ($r=0.907$, $p<0.01$) およびホップステップ距離 ($r=0.938$, $p<0.01$) との間に特に強い正の相関関係が認められた。

Fig.3 は実測距離と各歩の跳躍比およびホップステップ比との関係を示している。実測距離と各歩の跳躍比に有意な関係は認められず、特にジャンプ比では約 10% 近いばらつきがみられた。また、実測距離とホップステップ比の間にも有意な関係は認められず、ホップ距離に対するステップ距離の割合は約 60% から 90% までと幅広かった。

Table 2 は各群の助走の最高スピードを示している。助走の最高スピードには各群間に有意な差が認められ ($p<0.05$)、各群間で 0.30—0.40 m/s 程度の差がみられた。

Table 3 は各群の各歩の跳躍距離とホップス

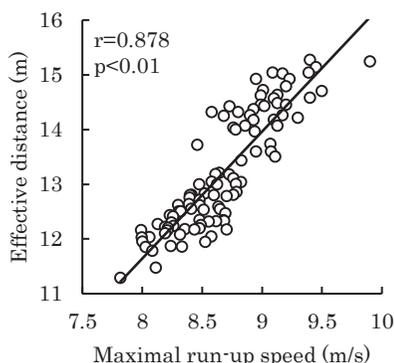


Fig.1 Relationship between the effective distance and the maximal run-up speed.

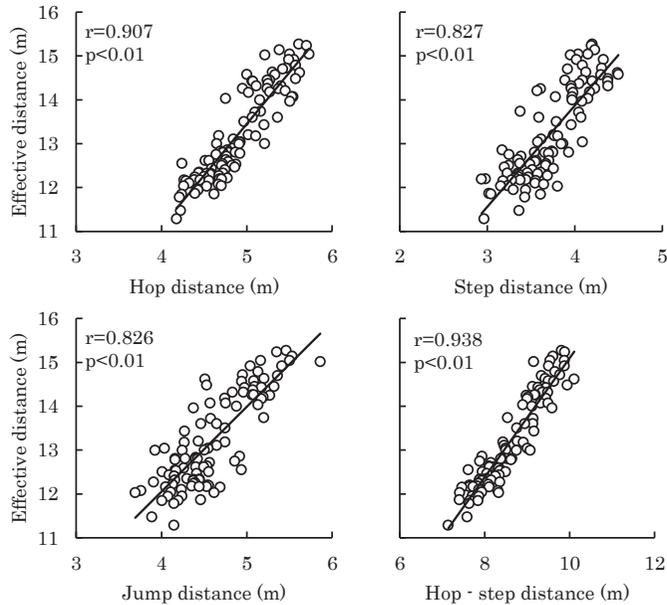


Fig.2 Relationships between the effective distance and phase distances.

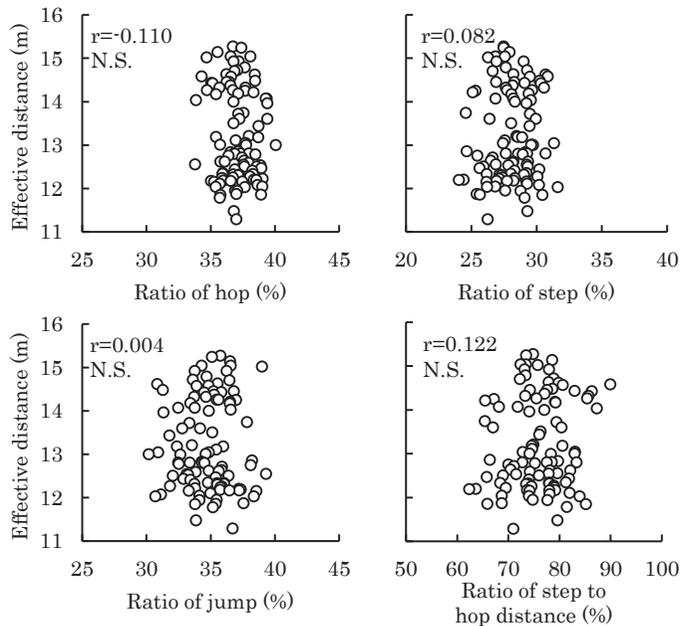


Fig.3 Relationships between the effective distance and phase ratios.

テップ距離を、Table 4 は各歩の跳躍比とホップステップ比を示している。各歩の跳躍距離ではホップ距離で 15 G と 14 G との間に有意な差は認められず、その他の群間では有意な差が認められ ($p < 0.05$)、各群間で 0.30—0.40 m の差がみら

れた。ステップ距離では 15 G, 14 G, 13 G の間、および 12 G と 11 G との間に有意な差が認められず、13 G と 12 G の間にのみ有意な差が認められた ($p < 0.05$)。ジャンプ距離では 13 G, 12 G, 11 G との間で有意な差が認められず、その他の

群間で有意な差が認められた ($p < 0.05$)。また、ホップステップ距離では 15G と 14G との間に有意な差が認められず、その他の群間では有意な差が認められ ($p < 0.05$)、群ごとに約 0.50 m 程度の差がみられた。各歩の跳躍比ではホップ比、ステップ比およびジャンプ比に各群間で有意な差は認められず、ホップステップ比においても各群

間で有意な差は認められなかった。

Table 5 は実測距離をもとに、助走の最高スピード、ホップ距離、ステップ距離、ジャンプ距離、およびホップステップ距離を推定する回帰式、回帰式の決定係数、推定誤差および回帰式から推定した 0.50 m ごとの各項目の推定値を示している。回帰式の決定係数はホップステップ距離、ホップ距離および助走の最高スピードにおいて 0.7 以上の高い値を示し、助走の最高スピードの推定値の標準誤差は約 0.20 m/s 程度であり、各跳躍距離における推定値の標準誤差は 0.30 m 以下であった。

IV 考察

本研究は女子三段跳競技者 100 名を対象にしており、その実測距離は 15.27 m から 11.29 m であった。女子三段跳の 2018 年度における世界ランキングおよび日本ランキングから、世界ランキング 1 位は 14.94 m、日本ランキング 1 位は 13.15 m、日本中学ランキング 1 位は 11.42 m であり、本研究の対象者は世界トップレベルから日本の中学生トップレベルに該当するものであった。過去の先行研究では、対象者が世界一流競技

Table 2 Comparison of the maximal run-up speed.

	Maximal run-up speed (m/s)
All	8.68±0.40 (9.90-7.82)
15G	9.40±0.28 (9.90-9.09)
14G	9.02±0.22 (9.50-8.58)
13G	8.78±0.21 (9.11-8.46)
12G	8.42±0.21 (8.79-7.99)
11G	8.14±0.22 (8.53-7.82)
F value	61.28*
Multiple comparison	15G > 14G > 13G > 12G > 11G

*, > : $p < 0.05$

Table 3 Comparisons of phase distances.

	Phase distance (m)			
	Hop	Step	Jump	Hop-Step
All	4.90±0.41 (5.73-4.18)	3.72±0.38 (4.50-2.94)	4.60±0.45 (5.86-3.69)	8.61±0.73 (10.11-7.14)
15G	5.52±0.20 (5.73-5.21)	4.13±0.11 (4.23-3.95)	5.48±0.23 (5.86-5.16)	9.65±0.28 (9.89-9.16)
14G	5.30±0.22 (5.62-4.75)	4.10±0.24 (4.50-3.57)	5.01±0.24 (5.41-4.51)	9.40±0.30 (10.11-8.90)
13G	5.04±0.23 (5.51-4.65)	3.82±0.21 (4.09-3.38)	4.48±0.30 (5.20-3.92)	8.86±0.33 (9.59-8.44)
12G	4.61±0.18 (4.92-4.24)	3.46±0.23 (3.93-2.94)	4.34±0.27 (4.93-3.69)	8.07±0.31 (8.65-7.42)
11G	4.34±0.15 (4.62-4.18)	3.27±0.23 (3.61-2.97)	4.14±0.17 (4.46-3.89)	7.61±0.24 (7.87-7.14)
F value	79.65*	48.28*	52.27*	121.21*
Multiple comparison	15G, 14G > 13G > 12G > 11G	15G, 14G, 13G > 12G, 11G	15G > 14G > 13G, 12G, 11G	15G, 14G > 13G > 12G > 11G

*, > : $p < 0.05$

Table 4 Comparisons of phase ratios and the ratio of hop to step distance.

	Phase ratio (%)			Ratio of step to hop distance (%)
	Hop	Step	Jump	
All	37.1±1.3 (40.1-33.8)	28.1±1.6 (31.6-24.1)	34.8±1.9 (39.3-30.2)	75.9±5.5 (90.0-62.4)
15G	36.5±1.2 (38.1-34.7)	27.3±0.6 (27.9-26.3)	36.2±1.6 (39.0-34.3)	74.8±2.2 (78.6-72.4)
14G	36.7±1.4 (39.4-33.9)	28.5±1.5 (30.9-25.1)	34.8±1.6 (37.0-30.8)	77.7±6.1 (90.0-65.5)
13G	37.8±1.3 (40.1-35.4)	28.7±1.6 (31.3-24.6)	33.6±2.0 (37.8-30.2)	76.0±5.0 (83.1-65.5)
12G	37.2±1.2 (39.1-33.8)	27.9±1.7 (31.6-24.1)	35.0±2.1 (39.3-30.7)	75.1±5.3 (84.0-62.4)
11G	36.9±1.0 (38.9-35.7)	27.8±1.9 (30.5-25.4)	35.3±1.4 (37.6-33.8)	75.6±6.6 (85.2-65.9)
F value	2.04	1.48	2.80	1.01
Multiple comparison	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

*, > : p<0.05

Table 5 Target values for the female triple jumpers based on the performance level.

	Maximal	Phase distance (m)			
	run-up speed (m/s)	Hop	Step	Jump	Hop-Step
15.5m	9.44	5.71	4.40	5.41	10.09
15.0m	9.27	5.53	4.25	5.23	9.77
14.5m	9.11	5.35	4.10	5.06	9.44
14.0m	8.94	5.18	3.95	4.88	9.12
13.5m	8.77	5.00	3.81	4.70	8.80
13.0m	8.61	4.83	3.66	4.53	8.47
12.5m	8.44	4.65	3.51	4.35	8.15
12.0m	8.28	4.48	3.36	4.18	7.83
11.5m	8.11	4.30	3.21	4.00	7.50
Estimate equations	$y = 0.332x + 4.291$	$y = 0.351x + 0.265$	$y = 0.297x - 0.204$	$y = 0.353x - 0.061$	$y = 0.647x + 0.061$
R ²	0.771	0.823	0.685	0.683	0.879
SEE	0.194	0.174	0.215	0.257	0.257

者 (Brüggemann and Arampazis, 1997; Mendoza and Nixdorf, 2011; Muraki et al., 2009; 築野ほか, 2011; Tucker et al., 2018), または日本一流競技者 (築野ほか, 2012) と競技レベルが限定されており, 本研究で収集されたデータは, 先行研究と比較して広範囲のパフォーマンスレベルを対象としていた. つまり, 本研究のデータから得ることができるパフォーマンスと各パラメータとの関係, 競技

レベル別の特徴および目標値などの知見は, 幅広いパフォーマンスレベルの女子三段跳競技者にとっての基礎的な資料になると考えられる.

1. パフォーマンスと各パラメータとの関係

実測距離と各パラメータとの関係から, 助走の最高スピードおよび各歩の跳躍距離が実測距離, すなわちパフォーマンスに大きく影響しているこ

とが明らかとなり、その一方で各歩の跳躍比はパフォーマンスとの間に有意な関係はなかった。

助走の最高スピードとパフォーマンスとの関係について、三段跳は走幅跳と同様に水平方向への跳躍距離を競う種目であるため、助走の最高スピードが重要な課題であることが報告されている (Hay, 1992)。しかし、これらの報告は男子競技者を対象としたものが中心であり、女子競技者を対象とした報告は比較的少ない。Panoutsakopoulos and Kollias (2008) および Panoutsakopoulos et al. (2016) が女子競技者を対象に助走スピードとパフォーマンスとの間に有意な正の相関関係がみられ、その相関係数が $r=0.82$ および $r=0.70$ であったことを報告しているが、これらの先行研究では対象者がいずれも 12 名と少数であり、そのパフォーマンスレベルも 15.25—13.29 m および 13.99—11.44 m と限定的であった。つまり、本研究においても助走の最高スピードとパフォーマンスとの間に $r=0.878$ と強い正の相関関係がみられたことは、先行研究の結果を裏付けるとともに、その対象をより幅広いパフォーマンスレベルの女子三段跳競技者に広げた際にも助走の最高スピードが重要であることを改めて示すものであるといえる。一方で、三段跳では走幅跳と異なり 1 度の試技の中に 3 回の踏切局面が存在するため、各歩における技術的な要因がパフォーマンスに影響をおよぼす可能性がある。各歩の踏切局面では水平速度の減速を抑えることと鉛直速度を獲得することが課題となり、特にホップおよびステップ局面では水平速度の大きな減速を抑えるために過度に跳躍距離を獲得するのではなく、跳躍比をコントロールすることが必要となる (Allen et al., 2013, 2016; Liu et al., 2015; Song and Ryu, 2011; Yu and Hay, 1996)。そのため、同程度の助走の最高スピードを助走で獲得することができる競技者間であっても各歩の跳躍技術によってパフォーマンスに差が生じるといえる。つまり、助走で獲得したスピードがパフォーマンスに大きく影響するが、各歩の踏切局面で水平速度の維持と鉛直速度の獲得をどのように遂行するかについては、競技者ごとに差があり (Koh and Hay, 1990; Miller and Hay,

1986; 築野ほか, 2011)、各歩における跳躍距離獲得の戦略や踏切局面における技術的な要因も重要な課題になる可能性がある。

各歩の跳躍距離とパフォーマンスとの関係について、Hay and Miller (1985) は三段跳のパフォーマンス決定要因として各歩の跳躍距離をあげている。本研究においても、ホップ、ステップ、ジャンプおよびホップ—ステップ距離それぞれに実測距離と強い正の相関関係がみられ、各歩での距離獲得がパフォーマンスを決定する要因であることが改めて示された。さらに、本研究ではホップ—ステップ距離を用いることで、先行研究で行われているようにホップおよびステップの各歩を独立して評価するだけでなく、連続した 2 つの局面として総合的に評価することを試みた。そして、ホップ—ステップ距離と実測距離の相関係数は $r=0.938$ と非常に高く、パフォーマンスに大きく影響することが明らかとなった。後述する跳躍比やホップ—ステップ比において、ホップおよびステップでの跳躍距離獲得には競技レベルに関わらず競技者ごとの戦略があることが示されていることも踏まえると、ホップからステップまでの連続した局面を総合的に評価することも、パフォーマンスの特徴を明らかにする上で重要な視点となることが示唆される。さらに、ホップ—ステップ距離はジャンプの接地位置で評価することができ、助走路において踏切位置からの距離が既知の点 (走幅跳の踏切板設置位置など) を利用して映像から簡易的に推定することができる。そのため、コーチングなどの現場においても容易に用いることができる指標となり得るであろう。

各歩の跳躍比とパフォーマンスとの関係について、本研究では実測距離と各歩の跳躍比に有意な関係はなく、女子三段跳競技者を幅広いパフォーマンスレベルで横断的にみた際には、パフォーマンスレベルの違いによってホップ、ステップおよびジャンプのいずれかの跳躍比が強調されることはないと考えられる。また、各歩の跳躍比はホップ比が概ね 35—40%、ステップ比が概ね 25—30%、そしてジャンプ比は 30—40% の間に収束しており、本研究の分析試技が年度最高記録に対し

での達成率が96%以上と高かったことも踏まえると、前述したような各歩の比率から大きく外れるような跳躍ではパフォーマンスの達成率が低下する可能性がある。このことから各歩の比率とパフォーマンスとの間には有意な関係はないものの、パフォーマンスの安定には重要な指標となる可能性がある。さらに、ホップ距離に対するステップ距離の比であるホップーステップ比と実測距離との間に有意な関係がなく、ホップーステップ距離が実測距離と強い正の相関関係にあったことを踏まえると、ジャンプの接地までの跳躍距離獲得は重要であるが、ホップおよびステップにおける各跳躍距離の獲得には競技者ごとの戦略が存在する可能性が示唆される。

2. 競技レベル別にみたパフォーマンスに影響する各パラメータの特徴

競技レベル間における各パラメータの比較に着目すると、助走の最高スピードには各群で有意な差がみられ、競技レベル別にみた際にも助走の最高スピードを高めていくことはパフォーマンス向上のために重要な課題であり、日本の競技者から世界一流競技者までに共通した課題であるといえる。

各歩の跳躍距離に着目すると、世界のトップレベルに該当する15Gと世界大会への出場レベルに該当する14Gとの間では、ホップ距離、ステップ距離およびホップーステップ距離に有意な差はなく、ジャンプ距離に有意な差がみられた。このことから、15Gの競技者は助走で大きなスピードを獲得しながらも、ホップおよびステップの跳躍距離を14Gと同程度にとどめることで、水平速度を維持することを目的としていた可能性があり、ジャンプの踏切時まで助走で獲得したスピードを維持できていたことが推察される。さらに、有意な差はないものの、15Gは14Gおよび他の群と比較してホップーステップ比が小さい傾向があり、このことから、15Gはステップではスピードの維持をより重視していたことが示唆される。これらのホップおよびステップの戦略によって、15Gは大きなジャンプ距離を獲得しており、

そのことが14Gとの競技レベルの差に影響していたと考えられる。女子の世界一流競技者の各歩における特徴について、築野ほか(2011)は同じ競技レベルの男子競技者と比較することで検討しており、女子の世界一流競技者はホップおよびステップの接地時における接地距離を小さくすることで、支持期におけるブレーキを小さくしていたことを報告している。さらに、築野ほか(2012)は世界一流競技者の動作分析から、世界一流競技者はホップ離地からステップにかけての早いタイミングでの踏切脚の振り下ろしと遊脚の振り込みによるシザース動作を行っており、その結果としてホップおよびステップの支持局面での身体重心の水平速度の減少が小さかったことを報告している。このことから、ホップおよびステップでは減速を抑え、ジャンプで大きな跳躍距離を獲得する戦略は世界のトップレベルに該当する競技者の特徴であり、15Gおよび14Gの競技者にとっての重要な課題となることが示唆される。

日本一流競技者に該当する13Gに着目すると、ステップ距離には15Gおよび14Gとの間に有意な差はなく、ホップ、ジャンプ距離で有意な差がみられた。つまり、13Gの競技者が14Gに近づくためには、助走の最高スピードを高めること、ホップおよびジャンプの跳躍距離を獲得することが重要な課題になるといえる。一方で、15Gをはじめとする世界のトップレベルの競技者における跳躍の特徴から、ステップではスピードの維持が重要な課題であり、13Gの競技者にとってはホップで跳躍距離を獲得しながらも、ステップではさらに大きな跳躍距離の獲得を目指すのではなく、スピードを維持しながらも同程度の跳躍距離を獲得してジャンプ局面に向かう戦略が1つのモデルとなる可能性がある。しかしながら、助走の最高スピードに各競技レベル間で有意な差があり、パフォーマンスに大きく影響することを考えると、このような各歩における技術的な課題をより大きな助走スピードを獲得しながら遂行する必要があるといえる。そのため、日本一流競技者のホップおよびステップの各局面における技術的な特徴についても、今後は動作分析などからより詳

細に検討することが必要になるであろう。

また、日本のU20 競技者に該当する12Gに着目すると、13Gとの間ではホップ距離およびステップ距離に有意な差が、11Gとの間にはホップ距離にのみ有意な差がみられた。ホップの距離は助走の最高スピードの影響を大きく受けるため、日本の競技者に該当する13G、12G、11Gの中で考えると、12G、11Gとの間では助走の最高スピードの向上に伴うホップ距離が大きな違いである。そして、ステップおよびジャンプにおける技術的な違いがパフォーマンスにおよぼす影響は、14Gや15Gなどの競技レベルの高い競技者と比較すると小さい可能性がある。このことから、12Gが現在の日本一流競技者に該当する13Gを目指すためには、11Gと12Gとの関係と同様に助走の最高スピードの向上とそれに伴うホップ距離の獲得が重要である。さらに、各歩の跳躍比には群間で違いがないことから、助走スピードが向上した中でも各歩の跳躍比を大きく崩すことなく、ステップまでの跳躍を確実に遂行することが課題になると考えられる。

以上のように、日本の競技者に該当する13G、12Gおよび11Gの大きな違いは助走の最高スピードとホップ距離であり、実測距離の平均値には13Gと11Gとの間で1.50m以上の違いがあるにも関わらず、ジャンプ距離の平均値の差は0.34mと有意な差はない。つまり、日本における女子三段跳の現状としては、助走の最高スピードが大きく、ホップで距離を獲得することができ、跳躍全体におけるステップの比率を大きく崩すことのない競技者のパフォーマンスが高いことが示唆される。しかしながら、今後13Gに該当する日本一流競技者が14m台の跳躍を目指すためには、助走の最高スピードの向上だけでなく、先述したようにステップ局面でスピードを維持してジャンプ距離を獲得するアプローチが必要である。その一方で、日本の競技者の多くが該当する11Gおよび12Gでは、助走の最高スピード向上とホップの跳躍距離獲得が求められることから、日本の競技者内でも競技レベルによって各歩の跳躍距離獲得の戦略や技術的な課題は異なると考えられる。

つまり、15Gや14Gなどの上位の競技レベルにある競技者の各歩の跳躍距離獲得の戦略や踏切技術の特徴を12Gや11Gに該当する多くの日本人競技者に当てはめることは適切でない可能性もある。また、日本のU20 競技者は11Gおよび12Gに該当しており、三段跳に取り組むU20 競技者の数はインターハイの正式種目となった2017年度以降に増加していると予測されることから、U20 競技者の各歩における技術的な特徴などは十分に検討されていないといえる。U20 競技者のこのような現状に対して、日本陸上競技連盟(2018)が全国高等学校陸上競技選抜大会にステップ動作の習得を目的とした四段跳を採用するなど、様々な試みも行われており、U20 競技者についても技術的な要因や各歩の戦略などについて今後さらに検討していく必要があるといえる。

3. 競技レベルに応じたパフォーマンスに対する各パラメータの目標値

Fig.2 および Fig.3 に示したように、助走の最高スピードおよび各歩の跳躍距離は実測距離との間に強い正の相関関係がみられた。そこで、女子三段跳競技者のパフォーマンスに対する各パラメータの目標値を回帰式から検討することを試みた(Table 5)。陸上競技の各種目を対象とした指標は、ハードル走の目標記録からモデルタッチダウンタイムを作成したもの(川上ほか, 2004; 宮下, 1993)、400m 走の目標記録からモデル通過タイムを作成したもの(山元ほか, 2014)、跳躍競技(走幅跳、三段跳、走高跳および棒高跳)の目標記録からコントロールテストの目標値を作成したもの(稲岡ほか, 1993)、走幅跳および三段跳の目標記録から立五段跳や助走五段跳の目標値を作成したものなどがある(熊野ほか, 2018; 熊野・植田, 2015)。このような客観的な指標は、実際の競技会やトレーニングにおける競技者の特徴や課題の評価に利用可能であり、コーチングを行う際にも有益なものである。本研究における推定式の決定係数は最も低いジャンプ距離でも $R^2=0.683$ であり、特に助走の最高スピード、ホップ距離およびホップステップ距離で高い決定係数であった。

Table 2 および Table 3 に示したように、助走の最高スピードおよび各歩の跳躍距離は競技レベルによって有意な差がみられない競技レベルが存在するが、上位の競技レベルの群の平均値が下位の競技レベルの群の平均値を下回ることはなく、横断的にみたとときにも有意な正の相関関係にあることから、これらの直線回帰式を用いることで、目標とする記録に対して求められる各パラメータを高い精度で推定することが可能であると考えられる。また、先述したように、日本の競技者に該当する 11 m 台から 13 m 台の競技者においては、助走で大きなスピードを獲得すること、ステップまでの各跳躍を確実に遂行することの重要性が示唆された。そして、ホップステップ距離は競技会などにおいて各歩の跳躍距離と比較しても簡易的な推定が可能であることから、助走の最高スピードおよびホップステップ距離の目標値が現場でのコーチングにおいて特に重要な指標になると考えられる。なお、推定した目標値には推定による標準誤差が存在するため、提示した目標値を参考に、ホップ優位型、ジャンプ優位型、バランス型 (Hay, 1992) といった各競技者の跳躍タイプの特徴も考慮して各歩の跳躍距離とその比率を検討し、最適化していくことも重要になるであろう。

また、今後はこれらのパフォーマンスに対する助走の最高スピードや各歩の跳躍距離の目標値に加えて、熊野・植田 (2015) が示しているような競技者の体力的特性、および技術的な特性からも検討を行うことで、現場におけるコーチングにより効果的な知見を提供できる可能性がある。さらに、本研究で明らかになった幅広いパフォーマンスレベルの三段跳競技者における横断的な特徴をもとに、近年、その重要性が指摘されている事例研究によって (図子, 2012; 森丘, 2014; 戸邊ほか, 2018), 縦断的なパフォーマンスの変化と技術的特性および体力的特性の変化についても検討していくことが必要となるであろう。

V 要約

本研究の目的は、女子三段跳競技者を対象とし

て、パフォーマンスと助走スピードおよび各歩の跳躍距離と跳躍比との関係性について検討し、各パラメータの特徴を明らかにするとともに、女子三段跳競技者の競技レベルに応じた基礎的パラメータの目標値を提案することであった。

本研究において、以下の結果が得られた。

- 1) 助走の最高スピードおよび各歩の跳躍距離はパフォーマンスと正の相関関係が認められ、特にホップ距離とホップステップ距離に高い相関関係が認められた。
- 2) 世界一流競技者に該当する 15G の競技者は、14G の競技者と比較するとホップおよびステップにおける跳躍距離に有意な差は認められず、ジャンプの距離に有意な差が認められた。
- 3) 日本一流競技者に該当する 13G の競技者は、世界大会への出場レベルに該当する 14G と比較するとステップ距離に有意な差は認められず、ホップおよびジャンプにおける跳躍距離に有意な差が認められた。
- 4) 日本の U20 競技者に該当する 12G および 11G の競技者では、日本一流競技者に該当する 13G と比較するとホップ距離に有意な差が認められ、ジャンプ跳躍距離に有意な差は認められなかった。
- 5) 三段跳における跳躍距離から、競技レベルごとの助走の最高スピードおよび各歩の跳躍距離を推定する式を算出し、三段跳の目標記録に対する各パラメータの目標値を作成した。

以上の結果から、女子三段跳競技者を世界一流競技者から日本の U20 競技者までの幅広いパフォーマンスレベルで横断的にみると、助走の最高スピードを高めることが全ての競技レベルに共通する課題であるが、各歩における跳躍距離獲得の課題は競技レベルごとに異なることが明らかになった。そして、競技レベルごとの各パラメータの目標値は競技レベルに応じたコーチングを行う際の効果的な指標になると考えられる。

謝辞

本研究におけるデータの一部は日本陸上競技連盟科学委員会の活動によって得られたものであ

る。また、データ収集に際し、公益財団法人日本学生陸上競技連合ならびに関東学生陸上競技連盟にもご協力頂いた。ここに記して深く感謝申し上げます。

文 献

- Allen, S. J., King, M. A., and Yeadon, M. R. (2013) Trade-offs between horizontal and vertical velocities during triple jumping and the effect on phase distances. *Journal of Biomechanics*, 46: 979-983.
- Allen, S. J., King, M. A., and Yeadon, M. R., (2016) Optimisation of phase ratio in the triple jump using computer simulation. *Human Movement Science*, 46: 167-176.
- Bae, Y. (2011) Research project in the IAAF World Championships Daegu 2011: Biomechanical analysis of women's triple jump final. *Korean Society of Sports Biomechanics*: 91-99.
- Brüggemann, G. P. and Arampatzis, A. (1997) Biomechanical research project at the VIIth World Championships in Athletics, Athens 1997: Preliminary report. *New Studies in Athletics*, 12 (4): 59-66.
- Hay, J. G. and Miller, J. A. (1985) Techniques used in triple jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1: 185-196.
- Hay, J. G. (1992) The biomechanics of triple jump: A review. *Journal of Sports Science*, 10: 343-378.
- 稲岡純史・村木征人・国土将平 (1993) コントロールテストからみた跳躍競技の種目特性および競技パフォーマンスとの関係。スポーツ方法学研究, 6(1): 41-48.
- 川上小百合・宮下憲・志賀充・谷川聡 (2004) 女子100m ハードル走のモデルタッチダウンタイムに関する研究。陸上競技紀要, 17: 3-11.
- Koh, T. J. and Hay, J. G. (1990) Landing leg motion and performance in the horizontal jumps II: The triple jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6(4): 361-373.
- 小山宏之・村木有也・武田理・阿江通良・伊藤信之 (2006) 競技会における一流男女走幅跳, 三段跳および棒高跳選手の助走速度分析。陸上競技研究紀要, 2: 129-143.
- 小山宏之・村木有也・武田理・阿江通良・伊藤信之 (2007) 競技会における一流男女棒高跳, 走幅跳および三段跳選手の助走速度分析 (日本陸連科学委員会研究報告 第6巻 (2007) 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2006)。陸上競技研究紀要, 3: 104-122.
- 小山宏之・村木有也・柴山一仁・清水悠・阿江通良 (2012) 競技会における一流男女走幅跳および三段跳選手の助走スピード分析 (日本陸連科学委員会研究報告 第11巻 (2012) 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2011)。陸上競技研究紀要, 8: 46-64.
- 小山宏之・柴田篤志・柳谷登志雄・安藤柁之介・渡辺圭佑・山元康平・高松潤二 (2017) 2016 U20 世界選手権における男女三段跳の分析 (日本陸連科学委員会研究報告 第15巻 (2016) 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2016)。陸上競技研究紀要, 12: 28-145.
- 熊野陽人・大沼勇人・相馬聡・松原奨・植田恭史 (2018) 男子学生走幅跳・三段跳競技者における助走五段跳の跳躍距離の目標値。陸上競技研究, 115(4): 32-36.
- 熊野陽人・植田恭史 (2015) 走幅跳・三段跳選手の経年的な記録向上に伴うバウンディング能力の変化。陸上競技学会誌, 13(1): 11-20.
- Liu, H., Mao, D., and Yu, B. (2015) Effect of approach run velocity on the optimal performance of the triple jump. *Journal of Sport and Health Science*, 4: 347-352.
- Mendoza, L. and Nixdorf, E. (2011) Biomechanical analysis of the horizontal jumping events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 26: 25-60.
- Miller, J. A. and Hay, J. G. (1986) Kinematics of a world record and other world-class performances in the triple jump. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2: 272-288.
- 宮下憲 (1993) 110m ハードルレースに於けるモデルタッチダウンタイムに関する研究。陸上競技研究, 14: 10-20.
- 森丘保典 (2014) コーチング学における事例研究の役割とは? : 量的研究と質的研究の関係性。コーチング学研究, 27(2): 169-177.
- 村木征人 (1994) スポーツ・トレーニング理論。ブックハウス・エイチディ, pp.84-86.
- Muraki, Y., Koyama, H., Ae, M., Shibayama, K., and Yoshihara, A. (2009) Run-up velocity in the men's and women's triple jump at the 2007 IAAF World Championships in Athletics in Osaka (日本陸連科学委員会研究報告 第8巻 (2009) 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2008)。陸上競技研究紀要, 5: 119-124.
- 日本陸上競技連盟 (2018) 第6回全国高等学校陸上競技選抜大会 報告。陸上競技マガジン 10月号, 68(16): pp.214.
- Panoutsakopoulos, V. and Kollias, I. A., (2008) Essential parameters in female triple jump technique. *New Studies in Athletics*, 23: 53-61.
- Panoutsakopoulos, V., Theodorou, A. S., Katsavelis, D., Roxanas, P., Paradisis, G., and Argeitaki, P., (2016) Gender differences in triple jump phase ratios and arm swing motion of international level athletes. *Acta Gymnica*, 46: 174-183.
- Song, J. and Ryu, J. (2011) Biomechanical analysis of the techniques and phase ratios of domestic elite triple jumpers. *International Journal of Applied Sports Science*, 23: 487-

504.
戸邊直人・林陵平・荻山靖・木越清信・尾縣貢 (2018) 一流走高跳選手のパフォーマンス向上過程における事例研究. コーチング学研究, 31(2): 239-251.
- 築野愛・阿江通良・小山宏之・村木有也・高本恵美 (2011) 世界一流女子三段跳選手の踏切動作に関するバイオメカニクス的研究—同程度の競技記録を持つ男子選手との比較—. 陸上競技研究, 84(1): 23-31.
- 築野愛・阿江通良・小山宏之 (2012) 記録水準の異なる女子三段跳の跳躍動作に関するバイオメカニクス的研究. 陸上競技研究, 90(3): 17-26.
- Tucker, C., Nicholson, G., Cooke, M., Bissas, A., and Merlino, S. (2018) Women's triple jump - 2017 IAAF World Championships Biomechanical report: 1-25.
- 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.
- Yu, B. and Hay, J. G. (1996) Optimum phase ratio in the triple jump. *Journal of Biomechanics*, 29: 1283-1289.
- 関子浩二 (2012) 体育方法学研究およびコーチング学研究が目指す研究のすがた. コーチング学研究, 25(2): 203-209.

(2019年3月18日受付)
(2019年8月7日受理)

Advance Publication by J-STAGE
Published online 2019/10/16