

## 女子走幅跳高校記録保持者の高校3年間にわたる踏切および踏切準備における キネマティクスの特徴の縦断的变化

柴田篤志<sup>1)</sup> 清水悠<sup>2)</sup> 小山宏之<sup>3)</sup>

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科 2) 島根大学人間科学部 3) 京都教育大学教育学部

Change in characteristics of kinematics parameters in takeoff and preparation phases of long jump during 3 years for a high school woman long jumper who achieved a national high school record

Atsushi, Shibata<sup>1)</sup> Yutaka Shimizu<sup>2)</sup> Hiroyuki, Koyama<sup>3)</sup>

1)Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba.

2)Faculty of human Sciences, Shimane University.

3)Faculty of Education, Kyoto University of Education.

### Abstract

The purpose of this study was to investigate the change of takeoff and preparation motions of the long jump for a high school woman long jumper. The subject was a woman long jumper who achieved the Japan high school record of the long jump (6.44m) in the 3rd grade of a high school. We collected her run up speed and takeoff motions from her high school 1st grade to 3rd grade by a laser distance measurement device (LAVEG) and two high-speed cameras. The results were summarized as follows;

- 1) Performance in 2018 was improved by the high run-up speed and horizontal velocity at touch down.
- 2) Characteristics of her jump changed in each year and decrees of horizontal velocity during the takeoff phase in 2018 was smaller than other, therefore she was takeoff more in the horizontal direction.
- 3) In the best performance jump, her takeoff motion during the takeoff phase was changed in which moved CG displacement more forward at toe off and her knee joint of takeoff leg was extension faster in the 2nd half of takeoff phase.

### I はじめに

2018年度、女子走幅跳では第18回アジアジュニア陸上競技選手権大会で日本高校タイ記録ならびにU20日本タイ記録となる6.44mが記録された。また、同じ高校生競技者が日本陸上競技選手権大会を2連覇し、U20世界陸上競技選手権大会で2位入賞、および高校総体3連覇を達成するなど、現在、高校生ながらも日本トップレベルかつ、U20世代の中では国際大会で戦うことのできる競技力を持った競技者がいる。さらに、2018年度の高校ランキングをみても、8位までが6.00mを超えており、高校生の段階で日本選手権において入賞することが可能なレベルの競技者も複数いるといえる。一方で、女子走幅跳で世界陸上競技選手権大会やオリンピックといった世界レベルの競技会に出場するための標準記録

は、6.72m(2019年ドーハ大会)、6.70m(2016年リオ・オリンピック)と6.86mの日本記録に近い記録が求められており、世界大会への出場を目標とした際には、前述したような高校生競技者たちにも、今後の継続したパフォーマンスの向上が求められるといえる。

このように、日本における高校生競技者の競技レベルは向上している可能性が指摘できるが、大学生競技者や社会人競技者に目を向けると、2018年度における大学生競技者のランキング1位の記録は6.24m、社会人競技者のランキング1位の記録は6.43mであり、日本の女子走幅跳競技者におけるパフォーマンスの現状としては、大学への進学以降にそのパフォーマンスが停滞していると考えられる。しかしながら、このような現状に対して、女子走幅跳競技者を対象とした横断的研究や縦断的研究

Table1 Event data of analysis.

Event	Stadium	Date
69 <sup>th</sup> Japan National High School Championships*	Okayama	2016.08.02
8 <sup>th</sup> Japan National U18 Championships	Nagoya	2016.10.23
65 <sup>th</sup> Hyogo Relay Carnival	Kobe	2017.04.23
101 <sup>st</sup> Japan National Championships	Osaka	2017.06.25
70 <sup>th</sup> Japan National High School Championships*	Yamagata	2017.07.31
72 <sup>nd</sup> National Games	Matsuyama	2017.10.10
9 <sup>th</sup> Japan National U18 Championships	Nagoya	2017.10.22
66 <sup>th</sup> Hyogo Relay Carnival*	Kobe	2018.04.22
102 <sup>nd</sup> Japan National Championships*	Yamaguchi	2018.06.22
17 <sup>th</sup> IAAF World U20 Championships	Tampere	2018.07.15
71 <sup>st</sup> Japan National High School Championships*	Ise	2018.08.06
73 <sup>rd</sup> National Games	Fukui	2018.10.07
34 <sup>th</sup> Japan National U20 Championships*	Nagoya	2018.10.21

\*Motion analysis event

は少なく、日本国内の競技者を対象としたものは助走スピードを対象としたもの（小山ほか，2007；2011；2012），体力特性およびキネマティクスの変化についての報告がわずかにあるのみで（大宮ほか，2012；2014），高校生競技者を対象とした報告となるとその数はさらに少ない．そのため，パフォーマンスの変化が著しく，その時点で日本トップレベルに近い競技力を持つU20世代の競技者を対象として，助走スピードやキネマティクスの特徴についてデータを縦断的に収集し，検討することができれば，非常に貴重な資料になると考えられる．さらには，U20世代の段階において競技者の課題を明確にすることができれば，大学進学以降に記録が停滞している日本の女子走幅跳の現状を改善するためのアプローチの一助になる可能性もある．

そこで，本研究では2018年度に日本高校タイ記録を達成した女子走幅跳競技者を対象として，高校3年間のパフォーマンスの向上とキネマティクスの特徴の縦断的变化について，事例的に検討することを目的とした．

## II 方法

### 1. 対象者および分析試技

本研究の対象者は，高校生女子走幅跳競技者1名（PB：6.44m）であり，対象者が2016年から2018年にかけて出場した競技会のうち，日本陸上競技連盟科学委員会が活動を実施した競技会における試技を分析試技とした．なお，研究対象期間の各年度における対象者の自己記録は2016年（高校1年

時）が6.18m，2017年（高校2年時）が6.26m，そして2018年（高校3年時）が6.44mと対象期間において合計3度，自己記録を更新していた．また，Table1は本研究の分析対象とした競技会を示している．対象競技会において，対象者の全ての試技で助走スピードを収集するとともに，2016年全国高校総合体育大会（以下，16IH），2017年全国高校総合体育大会（以下，17IH），2018年兵庫リレーカーニバル（以下，18HRC），2018年日本陸上競技選手権大会（以下，18NCH），2018年全国高校総合体育大会（以下，18IH），および2018年U20日本選手権（以下，18JU20）における試技のうち，実測距離（公式記録に踏切での損失を加えたもの）が最も大きい試技を動作分析の対象試技とした．

### 2. データ収集

全ての分析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製，LAVEGLDM301）を用いて対象者の助走開始からの着地までの位置情報を100Hzで収集した．さらに，一部の競技会では，動作分析のために対象者の全試技をスタンドの最上段に固定した2台のハイスピードカメラ（Panasonic社製，Lumix DMC FZ-300）を用いて，踏切2歩前から踏切までを240fpsで助走路前方および後方から固定撮影した．また，試技撮影前にキャリブレーションポール（高さ2.4m）を撮影範囲内の計測点に順に立て撮影した．なお，これらのデータ収集は全て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．

### 3. データ処理

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0.5Hzで平滑化し，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．

動作分析の対象試技は，踏切2歩前離地の10コマ前から踏切離地の10コマ後までの身体分析点23点をビデオ動作分析システム（DKH社製，Frame-DIAS V）によりデジタル化した．そして，2台のカメラの身体分析点とコントロールポイントの座標から，3次元DLT法を用いて身体分析点23点の3次元座標を得た．なお，3次元座標は進行方向右向きをx軸，進行方向をy軸，鉛直方向をz軸とした．これらの身体分析点の3次元座標は，Wells and

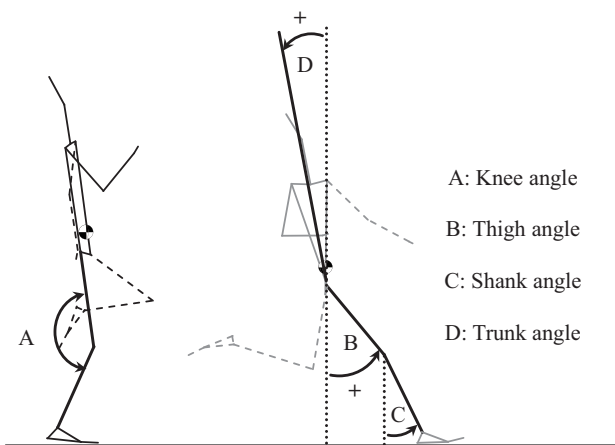


Fig.1 Definitions of joint and segment angles.

Winter (1980) の方法を用いて分析点毎に最適遮断周波数を決定し, Butterworth low-pass digital filter を用いて 4.8Hz から 9.6Hz で平滑化した。

#### 4. 算出項目

以上のデータから, 下記の項目を算出した。

##### (1) 助走の最高スピードと出現地点

助走の最高スピードは助走開始から踏切の離地までの間における最高スピードとし, 助走の最高スピードが出現した地点の踏切板先端からの距離を助走の最高スピード出現地点とした。

##### (2) 実測距離

公式記録に踏切足のつま先から踏切板先端までの距離 (踏切損失) を加えたものを実測距離とした。

##### (3) 身体重心位置および身体重心速度

身体重心位置は阿江 (1996) の身体部分係数を用いて身体分析点の座標データから算出し, それを数値微分することによって身体重心速度を算出した。

##### (4) 各歩のステップ長

踏切 2 歩前離地から踏切接地にかけての各歩における支持脚つま先間の y 軸方向の距離を各歩のステップ長とした。

##### (5) 踏切時間

踏切時間は踏切足の接地から離地までの時間とし, 映像から踏切足接地および離地瞬時のフレームを読み取ることで算出した。

##### (6) 下肢関節角度およびセグメント角度

膝関節角度は大腿と下腿のなす角度とした。大腿角度は膝中点と大転子を結ぶベクトルが大転子から下ろした鉛直線となす角, 下腿角度は足関節外踝と膝中点を結ぶベクトルが膝中点から下ろした鉛直線となす角, 体幹角度は左右肩の midpoint と左右大転子の midpoint を結ぶベクトルが鉛直線となす角とし, 前傾を負, 後傾を正とした。なお, Fig. 1 に角度定義を示

した。

#### 5. 局面定義

踏切 2 歩前離地 (Ls2T0), 踏切 1 歩前接地 (Ls1TD), 踏切 1 歩前離地 (Ls1T0), 踏切接地 (TD), 踏切離地 (T0) および踏切における踏切脚膝関節最大屈曲時を踏切中間 (Mid) として各イベントを設定した。Ls2T0 から Ls1T0 までを踏切準備局面とし, TD から T0 を踏切局面とした。また, 踏切局面におけるキネマティックデータは TD から T0 が 100% となるように規格化した。

### III 結果および考察

#### 1. 助走の最高スピード

Fig. 2 は対象者の分析試技の公式記録と助走の最高スピードおよび, 助走の最高スピード出現地点の関係を示している。また, Appendix 1 に全ての分析試技における公式記録と助走の最高スピードおよび出現地点を示した。助走スピードの分析対象試技における公式記録は 3 年間で向上しており (2016 年:  $5.74 \pm 0.11\text{m}$ , 2017 年:  $6.05 \pm 0.17\text{m}$ , 2018 年:  $6.11 \pm 0.15\text{m}$ ), 助走の最高スピードも 2016 年からの 3 年間で向上している傾向がみられ (2016 年:  $8.72 \pm 0.04\text{m/s}$ , 2017 年:  $8.91 \pm 0.15\text{m/s}$ , 2018 年:  $9.02 \pm 0.10\text{m/s}$ ), 特に 2018 年には安定して  $9.00\text{m/s}$  程度の助走のスピードを助走で獲得することができていた。さらに,  $6.20\text{m}$  を超える跳躍の多くで  $9.10 \sim 9.20\text{m/s}$  の最高スピードを獲得しており, 2018 年の跳躍では 2016 年および 2017 年と比較して大きな助走の最高スピードを安定して獲得していたことが, パフォーマンスの向上や安定に影響していたと考えられる。一方で, 助走の最高スピード出現地点には大きな変化はみられず, 大半の試技において踏切板から約  $5.0 \sim 6.0\text{m}$  の地点で助走の最高スピードが出現していた。つまり, 助走の最高スピードを向上させながらも, 助走の最高スピードが出現する地点は安定しており, このこともパフォーマンスが安定して向上していたことの一因であるといえるであろう。

一方で, 小山ほか (2007) は現在の日本記録である池田久美子選手の  $6.86\text{m}$  の跳躍における助走の最高スピードが  $9.65\text{m/s}$  であったことを報告しており, さらに, 助走の最高スピードが跳躍距離を決定する大きな要因の一つであることから (Hay, 1993), 本研究の対象者がさらなるパフォーマンス向上を目指すためには, 助走の最高スピードは重要

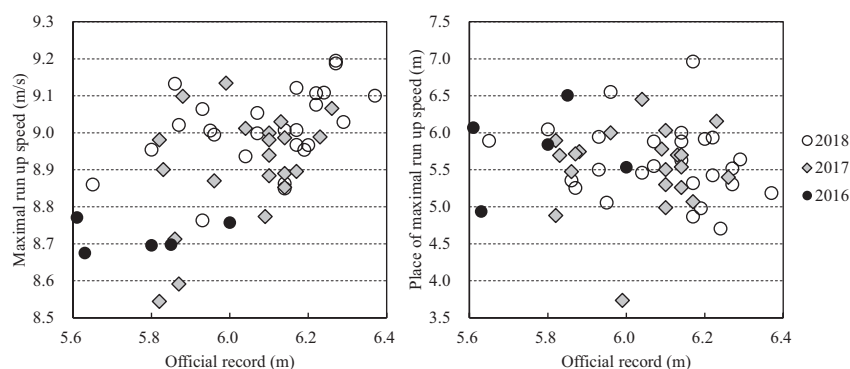


Fig.2 Relationship between official record and maximal run up speed (left), and place of maximal run up speed (right).

Table2 Characteristics of motion analysis trials, contact time and CG displacement parameters.

Event	Official record & wind (m)	Loss of takeoff (m)	Real distance (m)	Contact time (sec)				CG height (m)				Change rate of CG height Ls2TO-Ls1TD (%)	Step length (m)		Toe-CG distance (m)	
				TD-TO	1st half	2nd half	Ls2TO	Ls1TD	Ls1TO	TD	TO		Ls2TO-Ls1TD	Ls1TO-TD	TD	TO
16IH	6.00 -0.5	-0.08	6.08	0.104	0.050	0.054	0.89	0.84	0.83	0.81	1.02	-5.5	2.11	1.88	0.51	0.24
17IH	6.17 +2.8	-0.02	6.19	0.100	0.046	0.054	0.89	0.84	0.85	0.84	1.02	-6.1	1.91	1.75	0.49	0.28
18HRC	6.27 +3.3	-0.03	6.30	0.100	0.054	0.046	0.88	0.84	0.84	0.81	0.99	-4.5	1.99	1.81	0.50	0.28
18NCH	6.22 +0.5	-0.14	6.36	0.104	0.058	0.046	0.86	0.82	0.82	0.79	0.99	-4.6	1.86	1.70	0.52	0.27
18IH	6.14 -0.5	-0.05	6.19	0.108	0.058	0.050	0.87	0.83	0.83	0.81	1.02	-4.6	1.75	1.65	0.54	0.26
18JU20	6.27 +1.5	-0.17	6.44	0.113	0.046	0.067	0.89	0.84	0.84	0.81	1.03	-5.4	1.98	1.79	0.51	0.37

な課題となると考えられる。

## 2. 身体重心に関するキネマティクスの特徴の変化

Table2 は動作分析の対象試技の公式記録，踏切損失と実測距離，および踏切時間と身体重心位置に関するパラメータを示している．実測距離は18JU20 の跳躍では6.44mと高校記録に相当する距離であり，本研究における分析試技の中では最もパフォーマンスの高い跳躍であったといえる．踏切全体の時間は18JU20 の跳躍が他の分析試技と比較してやや長いものの，分析試技の中では大きな差はみられなかった．踏切前半および後半の時間に着目すると，18JU20 の跳躍では他の分析試技と比較して踏切後半の時間が長い傾向がみられた．Ls2TOからの各局面における身体重心高には大きな差はみられず，Ls2TOからLs1TDにかけての身体重心の降下率も同程度であった．Ls2TOからTDにかけての各歩のステップ長は16IHでLs2TOからLs1TDにかけてのステップ長が最も大きく，Ls1TOからTDにかけてのステップ長は16IHの跳躍で他の分析試技と比較してやや大きかったが，分析試技の中で大きな差はみられなかった．また，TDおよびTOにおける踏切足つま先と身体重心の水平距離は，TDでは大きな差はないが，TOで18JU20の跳躍が他の跳躍と比較して0.10m程度大きかった．さらに，踏切離地時

の身体重心高に大きな差がないことも加味すると，18JU20の跳躍で踏切離地時の姿勢が大きく変化しており，踏切局面において身体重心を上方に引き上げながらも，より前方へ移動させることができていたと考えられる。

Table3は動作分析の対象試技における助走の最高スピード，踏切局面における身体重心速度に関するパラメータ，および跳躍角度を示している．助走の最高スピードはFig.2でも示したように，2018年の試技において大きい傾向を示しており，18HRCおよび18JU20で特に大きかった．また，踏切局面における身体重心の水平速度をみると，TDおよびTOともに18JU20で最も大きく，踏切局面における水平速度の減速量は16IHにおける跳躍が他の分析試技と比較しても特に大きかった．身体重心の鉛直速度をみると，TOでは16IHの跳躍が最も大きく，18JU20における跳躍で最も小さく，踏切前半局面における鉛直速度の獲得率は，18JU20を除く2018年の跳躍で他の分析試技と比較して大きかった．さらに，跳躍角度も16IHの跳躍で最も大きく，18JU20における跳躍が最も小さかった．

つまり，本研究において動作分析の対象とした試技からみると，2016年の跳躍は踏切での水平速度の減速が大きく，跳躍角度の大きい鉛直型の跳躍であったのに対して，それが2017年，2018年におけ

Table3 Maximal run up speed and CG velocities during the takeoff phase.

Event	Maximal run up speed (m/s)	Horizontal CG velocity (m/s)			Vertical CG velocity				Rate of 1st half (%)	Takeoff angle (deg)
		TD	TO	TD-TO	TD	TO	TD-TO	TD-Mid		
16IH	8.76	8.50	7.18	-1.31	-0.27	3.49	3.76	2.45	65.2	25.9
17IH	8.90	8.72	7.83	-0.89	-0.09	2.89	2.99	1.97	65.8	20.3
18HRC	9.19	8.68	7.68	-1.00	-0.17	2.86	3.03	2.41	79.7	20.4
18NCH	9.11	8.86	7.83	-1.02	-0.37	3.04	3.41	2.88	84.2	21.2
18IH	8.85	8.38	7.44	-0.94	-0.29	3.12	3.41	2.70	79.4	22.7
18JU20	9.19	8.97	8.02	-0.95	-0.17	2.83	3.00	2.01	67.1	19.4

Table4 Joint and segment angles during the takeoff phase.

Event	Knee angle of takeoff leg (deg)					Shank angle of takeoff leg (deg)			Thigh angle of takeoff leg (deg)			Thigh angle of free leg (deg)		Trunk angle (deg)	
	TD	Min (Mid)	TO	Flexion	Extension	TD	Mid	TO	TD	Mid	TO	TD	TO	TD	TO
16IH	162.6	152.3	164.2	10.4	12.0	18.3	-14.7	-29.7	35.7	12.0	-13.9	1.5	76.2	7.8	6.5
17IH	165.7	149.9	164.0	15.8	14.2	18.6	-14.5	-30.2	32.0	14.9	-17.1	-3.6	65.6	4.7	2.0
18HRC	164.6	146.1	163.0	18.4	16.8	17.9	-20.0	-30.0	33.1	13.2	-13.0	4.5	76.1	11.8	6.5
18NCH	170.9	144.1	167.7	26.8	23.7	23.7	-22.8	-29.9	32.2	10.6	-18.4	4.4	73.4	8.9	10.3
18IH	161.0	152.0	168.3	8.9	16.3	18.4	-13.2	-28.2	36.2	10.2	-16.5	3.8	68.8	3.6	9.6
18JU20	162.4	148.7	171.6	13.7	22.9	20.3	-14.6	-34.7	36.1	15.2	-26.4	-1.1	80.6	9.1	10.8

る跳躍では、助走の最高スピードの向上に伴って水平速度の減少を抑えた水平型の跳躍に変化していた。対象者の跳躍の3年間の変化に関して、対象者の指導者から「1年生の時は、助走で一生懸命走っていて、ジャンプではフワッと浮くという感じ。昨年（高校2年時）はスピードがついたぶん、助走の勢いがジャンプにも出て、低いけど距離が出るような跳躍です。」とコメントがなされており（新井, 2018）、本研究におけるデータに基づいても2016年から2017年にかけて跳躍の特徴が変化していた可能性が示唆された。なお、対象者の16IHにおける跳躍角度（25.9deg）は、Tucker et al. (2018)の報告による2017年ロンドン世界陸上競技選手権大会における決勝進出者の平均値（ $21.3 \pm 2.2$ deg）および最大値（25.7deg）と比較しても非常に跳躍角度の高い跳躍であった。このような跳躍の特徴について、Shimizu et al. (2018)が跳躍角度を用いたクラスター分析から類型化を行っており、跳躍角度が競技者の跳躍タイプの特徴を示していることが示唆されている。このことから、対象者の跳躍タイプが高く跳び出す鉛直型の跳躍から、標準的かやや低く跳び出す水平型の跳躍へと変化しており、高校3年間の中で跳躍タイプを変化させながらパフォーマンスの向上がなされていたと考えられる。

### 3. 踏切局面におけるキネマティクスの特徴の変化

Table4は踏切局面における踏切脚の膝関節お

よび下肢のセグメント角度を示している。また、Fig. 3は踏切局面における踏切脚膝関節の角度および角速度の変化を示しており、Fig. 4は踏切局面における踏切脚の下腿、大腿の角速度および遊脚の大腿角速度を示している。なお、Fig. 5は動作分析の対象とした分析試技のLs2T0からT0にかけての動作のスティックピクチャを示している。

踏切脚の膝関節の角度をみると、18NCHの跳躍は他の跳躍と比較すると伸展位で接地しており、踏切における膝関節の屈曲量が最も大きかった。その他の跳躍では膝関節の屈曲量は同程度であったものの、18JU20における跳躍では踏切後半における伸展量が大きかった。また、踏切中の踏切脚の膝関節角速度をみても、18NCHでは屈曲角速度のピーク値が大きく、18JU20における跳躍では屈曲から伸展へと切り替わるタイミングが早く、伸展角速度のピーク値も比較的大きかった。同様に踏切脚の下腿および大腿セグメントの角度および角速度をみると、18NCHの跳躍を除くとTDの姿勢は類似しており、TOでは18JU20の跳躍において大腿および下腿がより前傾した姿勢であった。遊脚の大腿セグメントの角度および角速度では、18JU20における跳躍でTOにおける大腿セグメント角度が他の跳躍と比較して大きく、遊脚の大腿を速い速度で前方へと回転させており、より大腿を振り上げた姿勢で離地していた。つまり、18NCHにおける跳躍では踏切接地時の姿勢が異なったことにより、他の跳躍と異なる特徴

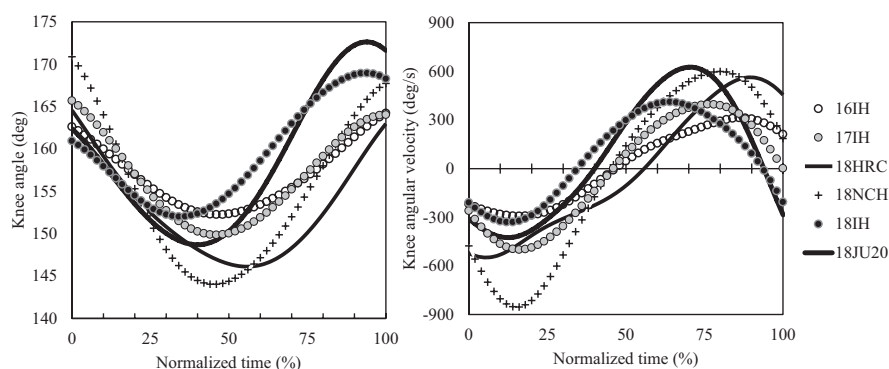


Fig.3 Changes in knee joint angle (left) and knee angular velocity (right) of takeoff leg during the takeoff phase.

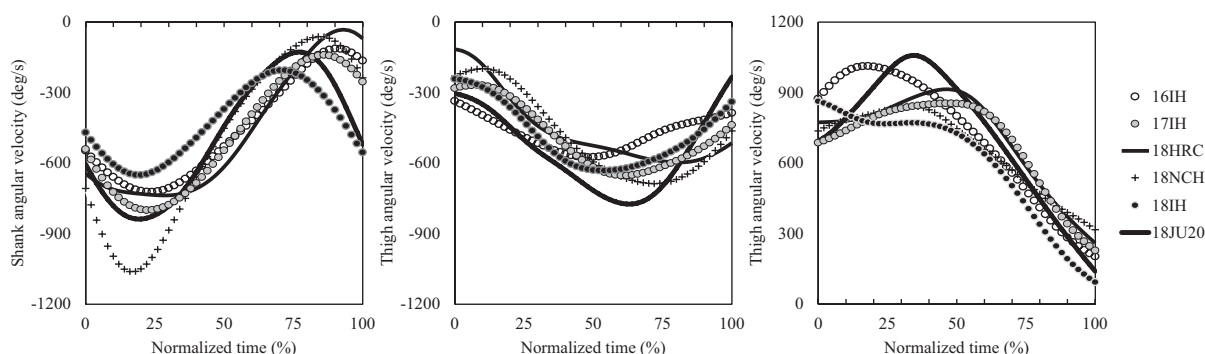


Fig.4 Changes in shank (left), thigh (id) segment angular velocities of takeoff leg and thigh angular velocity of free leg (right) during the takeoff phase.

がみられたが、この跳躍を除いた対象試技では踏切接地時の姿勢は類似しており、18JU20の跳躍では踏切後半の動作に特に大きな変化があったと考えられる。

これらの踏切局面における踏切脚および遊脚のキネマティクスの特徴から、実測距離の大きかった18JU20における試技では踏切離地時の姿勢が特に変化しており、踏切後半の時間が増加し、踏切後半の踏切脚膝関節の伸展が大きかったことが離地時の姿勢の違いに影響していた可能性がある。Muraki et al. (2008)は膝関節の伸展動作が踏切後半での重心速度の増加に影響することを報告しており、小山ほか(2010)は踏切離地時における下腿の姿勢に関して、下腿を踏切後半で前傾させる動作が水平速度の減少を抑えることを事例的に報告していることから、対象者の踏切後半における脚の伸展動作は、水平速度の減少を抑えながらより前方へと跳び出すことができるものであったと考えられる。

#### 4. 踏切準備局面におけるキネマティクスの特徴の変化

Table5は踏切準備局面における支持脚および遊脚の関節角度およびセグメント角度を示している。

Ls2T0における姿勢をみると (Fig.5 ①), 16IHおよび17IHにおける試技では大腿の前傾が大きく、さらに16IHでは体幹の前傾も特に大きかった。つまり、2016年および2017年における試技では踏切2歩前の離地時に支持脚をより後方まで蹴りきるような姿勢であったといえる。Ls1TDおよびLs1T0の踏切1歩前支持期における姿勢をみると (Fig.5 ③~⑤), 支持脚の動作に大きな差はないが、遊脚ではLs1TDにおける大腿の姿勢に差がみられ、2018年における試技では踏切1歩前接地時において遊脚の大腿がより前方へと位置している傾向がみられた。また、体幹の動作は16IHの試技において踏切1歩前の支持期における体幹の前傾から後傾への変化が大きく、急激に体幹を後傾させていた。村木ほか(2005)は踏切2歩前離地時の支持脚の後方への蹴り出しを抑えることで踏切1歩前での速度低下が抑制できることを事例的に報告しており、このような動作の違いが踏切1歩前接地時における遊脚大腿の位置にも影響していたと考えられる。つまり、3年間で助走において獲得できるスピードが高まっただけでなく、特に2018年においては踏切脚となる踏切1歩前の遊脚を早いタイミングで前方へ引き出す動作へと変化しており、このような踏切準備

Table5 Joint and segment angles during the preparation phase.

Event	Knee angle of support leg (deg)			Shank angle of support leg (deg)			Thigh angle of support leg (deg)			Shank angle of free leg (deg)			Thigh angle of free leg (deg)			Trunk angle (deg)		
	Ls2TO	Ls1TD	Ls1TO	Ls2TO	Ls1TD	Ls1TO	Ls2TO	Ls1TD	Ls1TO	Ls2TO	Ls1TD	Ls1TO	Ls2TO	Ls1TD	Ls1TO	Ls2TO	Ls1TD	Ls1TO
16IH	155.6	150.7	147.5	-54.1	2.3	-59.9	-29.8	30.8	-27.3	-50.6	-126.1	-24.5	55.2	2.0	53.9	-6.6	-4.8	6.2
17IH	150.7	154.6	141.5	-53.2	2.5	-63.3	-25.2	27.5	-25.0	-53.2	-125.0	-16.0	51.7	-1.4	51.9	-1.0	-2.9	3.3
18HRC	139.5	150.3	148.7	-54.5	2.1	-56.2	-14.1	31.3	-24.8	-39.7	-91.9	-2.5	57.4	15.6	52.3	-1.8	0.0	8.9
18NCH	149.2	146.6	132.5	-53.2	-0.4	-61.8	-22.4	32.2	-14.1	-44.7	-104.0	-8.2	58.5	10.4	53.0	-0.3	2.0	5.8
18IH	131.2	146.1	152.3	-57.8	1.4	-53.5	-9.3	34.9	-25.7	-30.6	-91.7	4.0	62.2	17.2	50.0	-2.0	-0.5	1.6
18JU20	142.7	148.7	147.2	-54.4	3.5	-57.6	-17.3	34.5	-27.5	-51.6	-107.9	-10.6	63.9	4.4	58.4	-3.6	-1.7	5.7

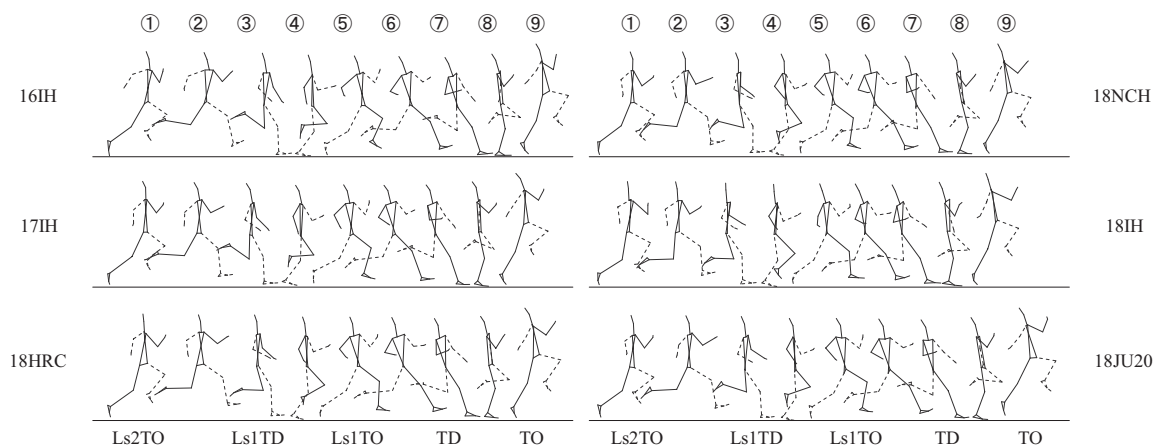


Fig.5 Stick pictures of motion analysis trials.

備局面におけるキネマティクスの変化も伴うことでパフォーマンスの向上につながっていたと考えられる。

#### IV まとめ

本研究では、2018年度に日本高校タイ記録を達成した女子走幅競技者を対象として、高校3年間のパフォーマンスの向上とキネマティクスの特徴の縦断的变化について、事例的に検討することを目的とした。

本研究によって得られた結果から、対象者のパフォーマンスは助走の最高スピードの向上に伴って向上しており、跳躍のタイプも2016年から2017年にかけて、踏切での減速が大きな跳躍角度の大きい鉛直型の跳躍から、減速の少ない水平型の跳躍に変化していたことが明らかとなった。さらに、最も実測距離の大きかった18JU20における跳躍では踏切動作にも特に大きな変化がみられ、踏切後半の局面において前方へと飛び出すような動作を行っていたことが明らかになった。

また、今後は本研究の対象とした競技者について縦断的なデータの収集を継続するとともに、日本の女子走幅跳競技者の特徴と課題についても対象者を

広げて検討を続けていくことが、今後の日本における女子走幅跳の競技力の向上のためには必要になると考えられる。

#### 参考文献

- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分係数. Japanese Journal of Sports Science, 15 (3): 155-162.
- 新井宏昌 (2018) 日本選手権チャンピオンのテクニック. 月刊陸上競技, 52 (9), 講談社. pp. 98-99.
- Hay, J.G. (1993) Citius, altius, longius (faster, higher, longer): The biomechanics of jumping for distance. Journal of Biomechanics. 26: 7-21.
- 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, 吉原 礼, 永原 隆, 柴山一仁, 大島雄治, 高本恵美, 阿江通良 (2010) 走幅

Appendix1 Run up speed of all trials.

Year	Event	Attempt	Official record (m)	Wind (m/s)	Maximal run up speed (m/s)	Place of maximal run up speed (m)	Year	Event	Attempt	Official record (m)	Wind (m/s)	Maximal run up speed (m/s)	Place of maximal run up speed (m)
2018	JU20	1st	6.03	2.3	-	-	2017	JU18	1st	6.13	1.3	9.03	5.70
2018	JU20	2nd	6.14	1.1	9.01	6.00	2017	JU18	2nd	F	-	8.91	6.40
2018	JU20	3rd	6.20	1.8	8.97	5.92	2017	JU18	3rd	6.14	0.3	8.89	5.70
2018	JU20	4th	6.22	1.7	9.08	5.93	2017	JU18	4th	F	-	8.85	5.90
2018	JU20	5th	6.29	0.9	9.03	5.64	2017	JU18	5th	F	-	8.77	7.10
2018	JU20	6th	6.27	1.5	9.19	5.52	2017	JU18	6th	5.96	0.3	8.87	6.00
2018	NG	1st	F	-	9.08	5.70	2017	NG	1st	6.10	0.5	9.00	5.30
2018	NG	2nd	F	-	8.95	6.01	2017	NG	2nd	6.04	0.4	9.01	6.45
2018	NG	3rd	5.65	1.5	8.86	5.89	2017	NG	3rd	F	-	8.88	5.66
2018	IH	1st	5.88	-1.2	-	-	2017	NG	4th	6.23	0.9	8.99	6.16
2018	IH	2nd	6.14	-0.5	8.85	5.63	2017	NG	5th	6.14	0.2	8.99	5.26
2018	IH	3rd	5.93	-0.9	8.76	5.94	2017	NG	6th	6.26	1.0	9.07	5.40
2018	IH	4th	6.04	-0.4	8.94	5.46	2017	IH	1st	6.10	1.9	8.98	6.03
2018	IH	5th	F	-	8.95	4.98	2017	IH	2nd	5.82	1.3	8.98	5.90
2018	IH	6th	5.95	0.5	9.01	5.05	2017	IH	3rd	6.10	2.5	8.94	4.99
2018	WU20	1st	F	1.6	9.19	5.14	2017	IH	4th	6.10	2.4	8.88	5.50
2018	WU20	2nd	6.37	1.2	9.10	5.18	2017	IH	5th	6.17	2.8	8.90	5.07
2018	WU20	3rd	5.87	1.9	9.02	5.25	2017	IH	6th	5.88	3.6	9.10	5.74
2018	WU20	4th	6.19	0.4	8.95	4.98	2017	NCH	2nd	6.14	1.1	8.85	5.54
2018	WU20	5th	6.24	0.3	9.11	4.70	2017	NCH	3rd	5.99	0.4	9.13	3.73
2018	WU20	6th	6.17	0.3	9.12	4.87	2017	NCH	4th	F	-	8.87	5.58
2018	NCH	1st	6.22	0.5	9.11	5.42	2017	NCH	5th	5.83	-1.3	8.90	5.69
2018	NCH	2nd	5.80	0.4	8.95	6.05	2017	NCH	6th	6.09	0.1	8.77	5.78
2018	NCH	3rd	6.14	-0.1	8.86	5.88	2017	HRC	1st	5.87	1.6	8.59	5.72
2018	NCH	4th	6.17	0.4	9.01	6.96	2017	HRC	2nd	5.82	0.4	8.54	4.88
2018	NCH	5th	5.96	0.2	8.99	6.55	2017	HRC	4th	F	-	8.69	4.71
2018	NCH	6th	F	-	9.11	5.58	2017	HRC	5th	5.86	3.3	8.71	5.48
2018	HRC	1st	6.07	0.1	9.05	5.88	2017	HRC	6th	F	-	8.55	5.08
2018	HRC	2nd	5.86	2.5	9.13	5.36	2016	JU18	1st	F	-	8.51	4.84
2018	HRC	3rd	6.07	0.3	9.00	5.55	2016	JU18	2nd	F	-	8.48	5.17
2018	HRC	4th	5.93	2.2	9.06	5.50	2016	IH	1st	5.61	0.3	8.77	6.07
2018	HRC	5th	6.17	0.8	8.97	5.32	2016	IH	2nd	5.80	0.4	8.70	5.84
2018	HRC	6th	6.27	3.3	9.19	5.30	2016	IH	3rd	6.00	-0.5	8.76	5.53
							2016	IH	4th	5.85	-0.5	8.70	6.50
							2016	IH	5th	F	-	8.57	4.49
							2016	IH	6th	5.63	-1.7	8.68	4.94

跳のバイオメカニクスの分析. 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 . pp. 154-164.

小山宏之, 村木有也, 柴山一仁, 清水 悠, 築野 愛, 荻山 靖, 阿江通良 (2011) 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10巻 (2011) 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2010). 陸上競技研究紀要 . 7: 37-49.

小山宏之, 村木有也, 柴山一仁, 清水 悠, 荻山 靖 (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.

村木有也, 阿江通良, 小山宏之, 伊藤信之, 山下訓史 (2004) 男子走幅跳の踏切準備および踏切局面における動作変化パターン (陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2003). 日本陸連科学委員会研究報告 . 3 (1) : 81-86.

Muraki, Y., Ae, M., Koyama, H., and Yokozawa,

T. (2008) Joint torque and power of the takeoff leg in the long jump. International Journal of Sport and Health Science, 6: 21-32.

大宮真一, 堤 毅, 北風沙織, 奥塚みなみ (2012) 日本学生一流女子走幅跳選手における競技記録および各種垂直跳パフォーマンスの変化 - 大学1年生から2年生まで - . 北翔大学北方圏生涯スポーツ研究センター年報 . 3: 7-16.

大宮真一, 中村宏之, 北風沙織, 重成敏史, 伊丸岡亮太, 吉田 真, 吉田昌弘 (2014) 日本学生一流女子走幅跳選手における競技記録および各種垂直跳パフォーマンスの変化 - 大学3年生から4年生まで - . 北翔大学北方圏生涯スポーツ研究センター年報 . 5: 15-26.

Shimizu, Y., Ae, M., Fujii, N. and Koyama, H. (2018) Technique types of preparatory and take-off motions for elite male long jumpers. International Journal of Sport and Health Science, 16: 200-210.

Tucker, C., Nicholson, G., Cooke, M., Bissas,



A., and Merlino, S. (2018) Women' s long jump - 2017 IAAF World Championships Biomechanical report: 1-30.

Wells, R. P. and Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics normal, pathological and sporting gaits. In: Human Locomotion 1 (Proceedings of the first biannual conference of the Canadian Society of Biomechanics). pp. 92-93.