

日本学生一流走幅跳選手における個人内での
跳躍距離と踏切準備および踏切時のキネマティクスとの関係
～大学2年時と3年時における北海道学連主催競技会において～

Relationships between Intra-individual Jumping Distance and Kinematics during
the Takeoff Preparation and Takeoff Phase in Japanese Varsity Top Long Jumper
～ Athletic Meeting under the Inter-University Athletic Union
of Hokkaido at 2nd and 3rd Grade in University ～

大宮 真一¹⁾ 重成 敏史²⁾ 伊丸岡 亮太²⁾
松橋 昌巳²⁾ 中村 宏之³⁾ 北風 沙織³⁾

Shin-ichi OMIYA¹⁾ Toshifumi SHIGENARI²⁾ Ryota IMARUOKA²⁾
Masami MATSUHASHI²⁾ Hiroyuki NAKAMURA³⁾ Saori KITAKAZE³⁾

キーワード：走幅跳，個人内，実測跳躍距離，キネマティクス

I. 緒言

走幅跳は、助走、踏切準備、踏切、空中および着地局面で構成されている。走幅跳の跳躍距離は助走速度と高い正の相関関係にあるが、単に助走速度が高いだけでは大きな跳躍距離を獲得できるわけではなく、踏切準備局面ではできる限り高い水平速度を維持しながら、踏切局面においては水平速度を効率よく鉛直速度へ変換する技術が要求される。

これまでの走幅跳の研究において、跳躍距離と踏切準備や踏切時のキネマティクスとの関係について、実際の競技会や実験での動作分析から選手個人間で検討され遠くへ跳躍するための技術が明らかにされている^{1, 2)}。このようにパフォーマンス向上のための原理原則を一般化する一方で、選手はそれぞれ動作の特徴があり、指導現場では選手の特性に応じた課題が設定される場面も多い。実際に、一般化される技術を目標としてそれを習得することが今後選手の自己ベスト記録更新に対してどのように影響していくのか不明な点が多いことから、ある特定の個人に対して適切な指導を行うためには競技会ごとを追跡して動作の特徴を詳細に分析し検討していくことが必要であると考えられる。

そこで本研究では、日本学生一流走幅跳選手における個人内での跳躍距離と踏切準備および踏切時のキネマティクスの関係について事例的に報告することを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

対象者は、大学陸上競技部に所属する女子走幅跳選手1名（以下、YH）であった。YHは、北海道および北海道学生記録保持者であり、2010年には日本陸上競技選手権で6位、2011年には日本学生陸上競技対校選手権大会にて7位、2012年には日本学生陸上競技個人選手権大会で2位など北海道出身の国内トップレベルの選手であった。また、2006年（中学3年生）の全日本中学陸上競技大会において優勝、2007年（高校1年生）および2008年（高校2年生）全国高校総体陸上競技大会でそれぞれ3位、2009年（高校3年生）国民体育大会陸上競技大会少年A女子走幅跳で優勝しており、中学・高校時においても全国のトップで活躍した実績を持っている選手であった。

また、YHの大学陸上競技部におけるトレーニング状況について以下に示した。

1) 北翔大学生涯スポーツ学部スポーツ教育学科
2) 北翔大学生涯スポーツ学部 非常勤講師
3) 北海道ハイテクノロジー専門学校

表 1 分析対象競技会

試合名	試技数	公式記録 (m)	風 (m)	備考
2011北海道IC	1	5.79	+1.5	ハイスピード撮影に不備のため分析対象除外
	2	5.78	+1.3	
	3	5.66	-0.3	
	4	5.70	+1.1	
	5	5.92	+1.5	
	6	5.96	+0.9	
2012学連競技会	1	6.09	+2.9	
	2	6.09	+4.2	
	3	5.98	-0.2	
	4	6.07	+2.6	
2012北海道IC	1	6.03	+1.8	当時大会記録, 優勝記録
	2	×		
	3	×		
	4	×		
	5	×		
	6	×		
2012北海道CH	1	6.20	+2.1	追い風参考ながら今季3度目の6m20越え, 優勝記録
	2	6.04	-0.5	
	3	6.02	+0.6	
	4	×		
	5	5.71	-0.9	
	6	×		

分析対象試技

×：ファール

- 大学陸上競技部では、短距離ブロックに所属。
- 試合期および冬期において主にスプリントトレーニング、ジャンプ系（バウンディング、ハードルジャンプなど）、ウエイトトレーニングおよび補強運動などがメイン。
- 走幅跳のトレーニングは、主に試合前に助走練習（全助走により足合わせ）、傾斜板を使用した中助走からの跳躍練習（踏切から着地まで）がメイン。この方法を高校時代から踏襲している。
- その他、走幅跳の動作を改善を試みるドリルなどは全く行っていない。

2. 測定項目

1) 走幅跳

(1) ビデオ撮影およびデータ処理

2011年における第62回北海道学生陸上競技対校選手権大会、2012年における第2回北海道学連競技会、第63回北海道学生陸上競技対校選手権大会、第41回北海道学生陸上競技選手権大会での女子走幅跳における公式試合の踏切準備および踏切動作を撮影した。分析対象試技は全有効試技とした（表2）。表2に示した競技会は、大学対校戦や、日本陸上競技選手権大会の標準記録突破に挑戦していたことから、全力での跳躍試技で行われた。

踏切位置の側方30mに設置したハイスピードカメラ（CASIO社製、EX-FH25）を用いて、走幅跳の踏切2歩前から踏切動作までを毎秒120フィールド、露出時間1/1000で固定撮影し、試合の前後に踏切地点にはビデオ

画像の縮小率を示すスケールとして2m間隔で較正マークを設置し撮影した。

画像上の身体部分点（手先、手首、肘、肩峰、つま先、母指球、踵、外果、膝関節中心、大転子、および頭頂、耳珠点、胸骨上縁）および較正マークをビデオ解析動作システム（ディケイエイチ社製、Frame-DIAS II for windows Ver.3）を用いて1コマごとにデジタイズした。分析は、踏切2歩前離地5コマ前から踏切離地5コマ後まで行った。得られた身体部分点の二次元座標は、較正マークをもとに実長換算した後、最適遮断周波数をWells and Winter³⁾の方法にもとづいて決定し、Butterworth Low-Pass Digital Filterを用いて4.8-10.8Hzの範囲で平滑化した。

(2) 算出項目および算出方法

画像解析により、踏切1歩前および踏切時のキネマティクスを算出した。また、身体重心に関する速度および角度の定義を図1に示した。なお、身体重心の算出には阿江⁴⁾の身体部分慣性係数を用いた。

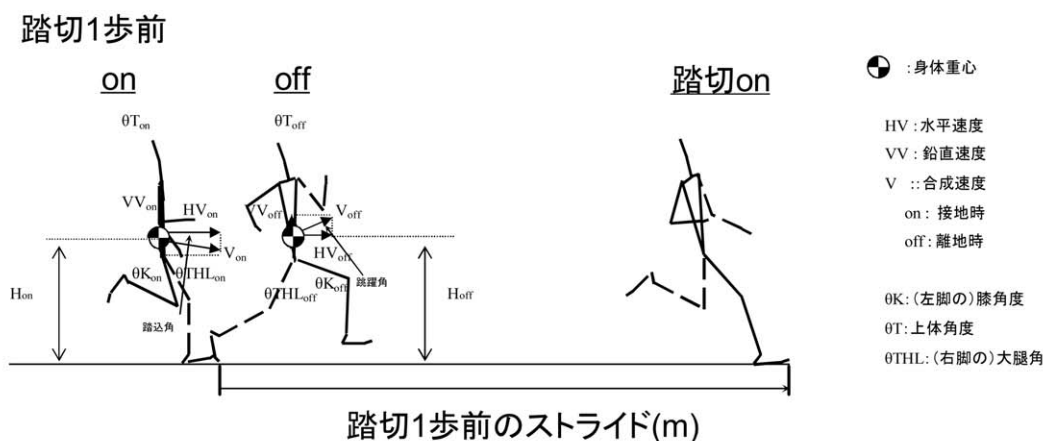
- ①踏切1歩前から踏切までのストライド：踏切1歩前接地時のつま先から踏切接地時のつま先までの距離。
- ②踏切損失距離：踏切時のつま先とファールラインとの間の距離を算出し、実測の跳躍距離について算出した。
- ③身体重心高：接地時（ H_{on} ）および離地時（ H_{off} ）での身体重心高を算出し、接地から離地時における変化量（ H_{on-off} ）についても算出した。
- ④身体重心速度：接地時および踏切接地時における水平速度（ HV_{on} ）と鉛直速度（ VV_{on} ）との合成速度を

踏込速度 (V_{on})、および踏切離地時における水平速度 (HV_{off}) と鉛直速度 (VV_{off}) を合成し、初速度 (V_{off}) とした。また、踏切時において踏切脚 (右脚) における膝関節の最大屈曲時の鉛直速度 (VV_{MKF}) も算出した。また、水平速度の変化量 (HV_{on-off}) 踏切時における鉛直速度の変化量:踏切前半 (VV_{on-MKF})、踏切後半 ($VV_{MKF-off}$) および全体での変化量 (VV_{on-off}) について算出した。

- ⑤踏込角 ($\theta_{CG_{on}}$) および跳躍角 ($\theta_{CG_{off}}$): 水平速度ベクトルと踏切初速度ベクトルとがなす間の角度。
- ⑥Efficiency Index⁵⁾: 踏切時の鉛直速度 (VV_{off}) を水平速度の変化量 (HV_{on-off}) で除した値。
- ⑦踏切時間(CT):踏切で足が接地している時間をフレーム数から算出した。

- ⑧右脚の膝関節角度 (θ_K): 接地時 ($\theta_{K_{on}}$)、踏切時の最大屈曲時 ($\theta_{K_{MKF}}$) および離地時 ($\theta_{K_{off}}$) の角度を算出し、 $\theta_{K_{MKF}}$ から $\theta_{K_{on}}$ を減じて踏切中の膝関節角度屈曲量 ($\theta_{K_{on-MKF}}$)、および $\theta_{K_{TO}}$ から $\theta_{K_{MKF}}$ を減じて膝関節角度伸展量 ($\theta_{K_{MKF-off}}$) を算出した。
- ⑨上体角度 (θ_T): 両大転子を結ぶ線分の midpoint から上方に伸びる鉛直線と胸骨上縁を結ぶ線分がなす角度。踏切接地時 ($\theta_{T_{on}}$) および離地時 ($\theta_{T_{TO}}$) の角度を算出し、離地時の角度 ($\theta_{T_{off}}$) から接地時の角度 ($\theta_{T_{on}}$) を減じて上体角度変化量 ($\theta_{T_{on-off}}$) を算出した。
- ⑩左脚の大腿角度: 接地時 ($\theta_{THL_{on}}$)、踏切時の最大屈曲時 ($\theta_{THL_{MKF}}$) および離地時 ($\theta_{THL_{off}}$) の角度を算出した。また、踏切1歩前では後方スイング幅 ($\theta_{THL_{on-off}}$) を算出した。

踏切1歩前 (Last one stride: L1)



踏切時 (Take-Off: TO)

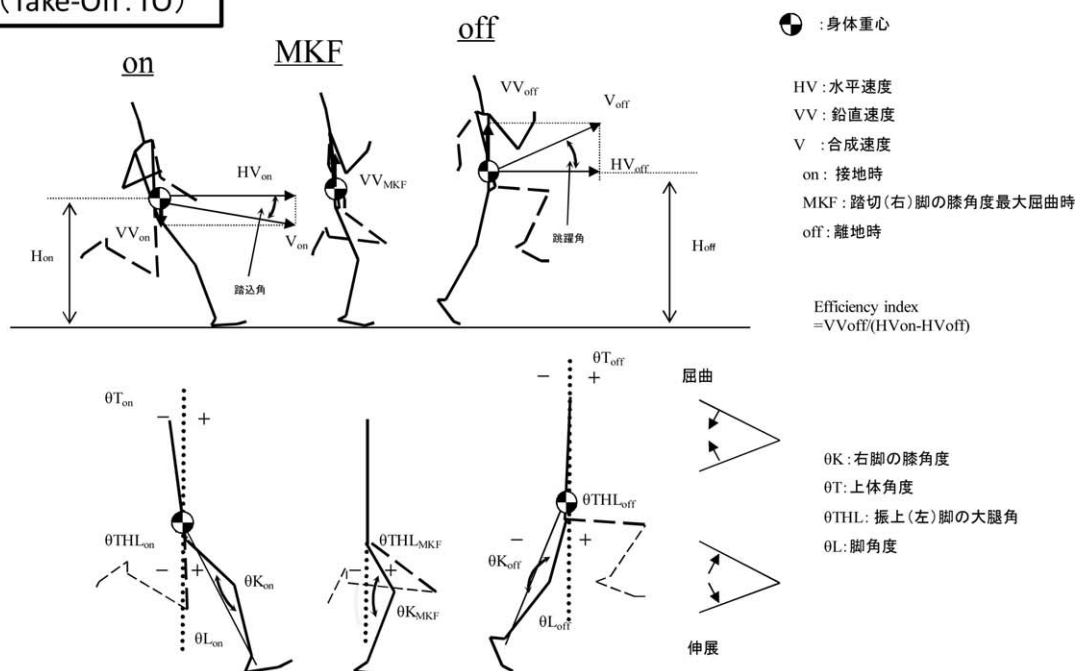


図1 分析項目における定義

①脚角度 (θL): 身体重心から下方に伸びる鉛直線と踏切脚の外果を結ぶ線分がなす角度²⁾。踏切接地時 (θL_{on}) および離地時 (θL_{off}) の角度を算出した。

(3) 統計処理

各分析項目の値は平均値および標準偏差を示した。実測跳躍距離と他の分析項目との関係においては、ピアソンの相関係数を算出し、有意水準5%未満で判定した。

Ⅲ. 結果および考察

表2に踏切1歩前および踏切時における14試技全ての分析項目を示した。

本研究において、YHの14試技の跳躍距離の平均は5m95であり、踏切時におけるHV_{on}は8.57m/sであった。これまで報告された女子一流選手のデータ²⁾における平均値は6m51の跳躍距離に対し、踏切時におけるHV_{on}の平均値は8.75m/sであった。YHの跳躍距離は、報告された女子一流選手の値と比較すると56cm低く、踏切時の助走速度を反映するHV_{on}は差が大きくないように見える。そして、14試技中、踏切時のHV_{on}が8.73m/sと踏切に入る瞬間の水平速度が最も高かった試技において跳躍距離が6m09であり、女子一流選手の踏切時の水平速度より高いにも関わらず跳躍距離が低いということは、踏切中および空中から着地までの動作の中で跳躍距離の損失があった可能性が考えられる。

次に、競技会での公式記録はファールラインからの距離になるため、その手前で踏み切ると数cmの損失をしている。そのため、撮影した画像からファールラインからつま先までの距離を算出し、実際に跳躍した実測跳躍距離を算出し、この値と画像分析によって算出した項目との相関関係について検討した。これまでに助走速度と跳躍距離との関係については有意な正の相関関係が認められていることが報告されているが、本研究においては踏切1歩前および踏切時のHVおよびVにおけるすべての項目と跳躍距離との間に有意な相関関係は認められなかった。このことは、YH個人内において大学2年および3年時では、本研究で示されたHVの範囲内では跳躍距離を大きくするための強い要因とならないことを示している。

動作に関連して、実測跳躍距離と関係があった項目は、踏切1歩前から踏切までのストライド ($r=-0.657$)、踏切1歩前では接地時および離地時の身体重心高 (それぞれ、 $r=-0.587$, -0.542)、接地時の右脚 (遊脚) の膝角度 ($r=0.705$)、接地時の上体角度 ($r=-0.739$)、離地時の跳躍角度 ($r=0.549$)、踏切時では踏込角 ($r=0.826$)、離地時の左脚 (振上脚) 大腿角度 ($r=0.548$)、接地時の脚角度 ($r=0.716$) であった。また、右脚 (踏切脚) の膝関節は

踏切1歩前の接地時から踏切接地時まで伸展することが確認することができたのでこの範囲での伸展量と実測跳躍距離との関係において、有意な負の相関関係 ($r=-0.690$) が認められた。これらの相関関係から示される内容について、測定された実数値を総合してまとめると、YHが跳躍距離を獲得するための要因として、

- 踏切1歩前では身体重心を低くする (至適な高さがある)。
- 踏切1歩前では、踏切脚となる右膝は伸展位にし、踏切に入るまでに大きく伸展しないようにする。
- 踏切1歩前接地時の上体は地面に対して垂直になる程度に起こしておく。
- 踏切1歩前では、身体は直線的に離地するようにする。そして、踏切時にはできるだけ身体重心が下がることなく微少に上向きで接地するようにする。
- 踏切では、離地時に振上脚の左脚が高く上がっているようにする。
- 踏切では、へそのあたりの位置 (身体重心位置) からの水平距離を長くして接地をする (至適距離がある) が挙げられた。したがって、YHは跳躍距離のベスト記録を大学2年時から3年時へと向上させ、5m66-6m20の範囲内での特徴を明らかにすることができた。

最後に、本研究では分析項目間については検討していない。今後の課題は、大学1年から4年時にかけての4年間における縦断的なデータによる分析試技数を増やしての検討、さらに画像分析で得られた項目間関係について分析をすることによって、助走速度をより跳躍距離につなげるための踏切技術を明確にすることである。

付 記

本研究は、平成23-25年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の助成を受けて実施された。また、平成27年度北方圏生涯スポーツ研究センター選定事業としても実施された。

文 献

- 1) Hay JG : The biomechanics of the long jump. : Exerc. Sports Sci. Reviews., 14 : 401-446, 1986.
- 2) Lees A, Fowler N. and Derby D : A biomechanical analysis of the last stride, touch-down, and takeoff characteristics of the women's long jump. J. Sports Sci, 11 : 303-314, 1993.
- 3) Wells R P and Winter D A : Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological

and sporting gaits. In : Human Locomotion 1
(Proceedings of the first biannual conference of
the Canadian Society of Biomechanics). pp.92-93,
1980.

- 4) 阿江通良：日本人幼少年およびアスリーの身体部
分係数. J.J.Sports Sci.,15 : 155-162, 1996.
- 5) 松井秀治・三浦望慶・袖山紘一他：走り幅跳びの踏
み切りにおける速度変化. 昭和48年度日本体育協会
スポーツ科学研究報告, NO. VI跳能力の向上—第1
次研究報告—. 7-11, 1974.