

ラート競技の跳躍における踏切動作のバイオメカニクスの研究

深瀬友香子¹⁾ 小池関也²⁾ 山田 哲³⁾ 本谷 聡²⁾

A study on takeoff motion of wheel gymnastics vault by biomechanical analysis

Yukako Fukase¹⁾, Sekiya Koike²⁾, Tetsu Yamada³⁾ and Satoshi Motoya²⁾

Abstract

The purpose of this study was to reveal effective takeoff skills for dynamic pike mount in wheel gymnastics vault. Takeoff motions of the players who have different features in motion were comparatively analyzed in the biomechanical view points to clarify the effective takeoff skills. Four subjects (2 males and 2 females) were analyzed. Effective takeoff skills were revealed as indicated as follows : 1) Using hinged-movement to convert horizontal velocity with run-up into greater vertical velocity for jump-up by leaning the body backward at touchdown. It helps to jump up higher. Positional relation of the body and the wheel at takeoff must be considered preliminarily because the wheel rolls forward while the legs on the ground. 2) Getting larger angular impulse thorough takeoff to rotate the body forward by leaning the body backward at touchdown. It helps to raise the feet higher. 3) Minimizing extension torques at shoulder joints by taking hold the wheel with the elbows extension preliminarily and with the shoulders keep narrowing. That leads to flex the shoulders during mounting phase. It helps to raise the hip higher.

Key words : wheel gymnastics, takeoff of vault, biomechanics, motion comparison

ラート競技, 跳躍の踏切, バイオメカニクス, 動作比較

1. 緒言

ラート競技は、体操競技、トランポリン競技などと同様に審判員の採点によって順位が競われる採点競技であり、その採点基準は技の難易度、演技構成、および演技の完成度である。現在、ラート競技では「直転」、「斜転」、「跳躍」という3つの種目が実施されており、直転、斜転においては、身体重心がラートの中央もしくは周辺に位置する技を組み合わせることでより演技を構成する(大塚, 1991)。跳躍においては、一旦ラートを転がしてから助走をしてラートに跳び乗り、そして跳び下りる一連の動きの中で技を行う。演技の構造により開脚・閉脚跳び系、スタンディング系、転回跳び系、懸垂支持・転回跳び系に分類されるが、この中でも特にスタンディング系は、国内外の大会において最も頻繁に行われている演技であるため、本研究では、この跳躍を取り上げることとする。スタ

ンディング系は、転がしたラートに向かって疾走し(助走)、ラートに追いついたところで、両手によりラートをつかむと同時に両足で地面を強くけり(踏切)、腕で身体を支持しながら足を浮遊させ(跳び上がり)、その後ラートの上に両足で立ち(スタンディング)、そして、ラートから跳び下りる際に宙返り等の技を行い(空中動作)、着地するという運動経過をもつ。なお、図1は、跳躍スタンディング系の運動経過例を示したものであり、「ラート競技採点規則2010」(日本ラート協会, 2010)の図説を基に、筆者が改編したものである。スタンディング系の演技に共通する主要な減点要因には、踏切時に肘が大きく屈曲すること、跳び上がり時に膝が屈曲すること、跳び上がり局面が短いこと、そして、跳び上がり終了時に腰の位置が肩の位置よりも低いことなどが挙げられる(日本ラート協会, 2010; IRV, 2010)。すなわち、踏切から跳び上がりにおいては、肘や膝が伸びた適切な姿勢、

1) 東北薬科大学
Tohoku Pharmaceutical University

2) 筑波大学体育系
Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

3) 兵庫医療大学リハビリテーション学部
School of Rehabilitation, Hyogo University of Health Sciences

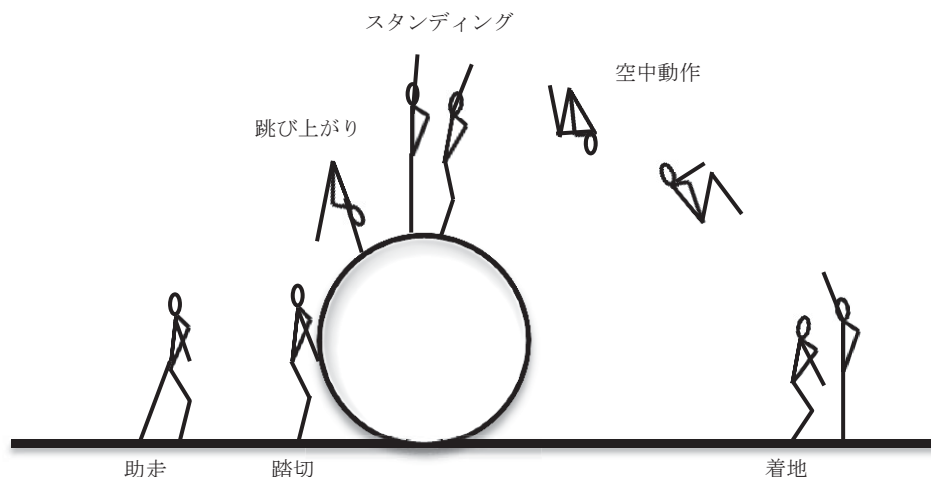


図1 跳躍スタンディング系の運動経過

さらに、十分な足先や腰の高さ、および十分な足の浮遊時間を伴う雄大な動きが求められている。なお、類似の運動形態である体操競技の跳馬においては、馬体を突き放した後の第2空中局面の雄大さが求められている(日本体操協会, 2009)のに対し、ラート競技の跳躍においては、ラートを蹴り出した(もしくは突き放した)後の空中動作局面のみならず、飛び上がり局面の雄大さも要求されている。さらに一連の運動経過の際に、器具であるラートが前方へ回転するという特殊性を有し、ラートの前方回転に伴い上昇する着手点よりさらに足先、腰を高く上げていかなければならないところに、この跳躍特有の技術が必要になると考えられる。

佐野(2007)は跳馬における踏切の重要性を指摘しているが、ラート競技の跳躍においても同様であり、飛び上がり局面の重心高や身体の角運動量などは、踏切が終了した時点でほぼ決まるといえる。肘関節および肩関節トルクの発揮により飛び上がり中に姿勢を変化させることも可能であるが、腕は脚ほど大きな力を発揮できない上、着手点も上昇するため大きな調整は難しいと考えられる。クヌッドソンら(2007)はバイオメカニクス的原則に基づいて動きの質的分析モデルを提示した研究の例を挙げており、さらに自身も分析の第一段階は動きの力学的原因を明確にすることとしている。深代(2001)もバイオメカニクスのコーチングへの応用について言及しているが、ラート競技においても、特に跳躍の踏切のような瞬時の動作においては、力学的原則に基づいた客観的評価による技術指導が有効にはたらくと考えられる。

これまでにラートの技術に関して、ラート運動の体

系化(大塚, 1991)、直転の技術や指導に関する研究(大塚ほか, 1990; 深瀬, 2010)などが報告されているが、跳躍の踏切技術に関する研究は見あたらない。加えて体操競技の跳馬においては、踏切の力学的および運動形態学的研究はなされてきている(赤羽ほか, 1982; 山田ほか, 1999; 佐野, 2007; 佐野ほか, 2009)が、先に示した採点規則上要求されるものの違い、さらにラート競技の特殊性から独自の考察が必要である。以上の理由により、跳躍スタンディング系の演技において、雄大な飛び上がりのために重要な動作と考えられる踏切をバイオメカニクス的に分析し、その力学的特徴について理解を深めていくことは、今後のより有効な指導への示唆、ならびに各選手のレベル向上に結びつくものと考えられる。

本研究の目的は、跳躍スタンディング系において異なる動作の特徴を有する選手を対象として、その踏切動作をバイオメカニクス的に比較分析することにより、雄大な飛び上がりに有効な技術的特長を事例的に探ることであった。

II. 研究方法

1. 実験

被験者は社会人男子選手1名(以下、被験者A)、大学男子選手1名(被験者B)、大学女子選手2名(被験者C, D)の計4名であり、被験者Aのみが国際大会での上位入賞経験があった。被験者には研究の主旨を口頭で説明した上、実験の同意を得た。表1に被験者の特性および使用したラートのサイズを示した。

実験試技では、練習に使用しているものと同じサイ

表 1 各被験者の特性

被験者	性別	身長(m)	体重(Kg)	使用したラートの直径(m)	実験当時の競技成績
A	男	1.74	65	2.20	世界選手権 2 位
B	男	1.66	61.5	2.10	日本選手権 7 位
C	女	1.61	51	2.10	日本選手権 4 位
D	女	1.57	52	2.10	日本選手権 8 位

ズのラートを用いたスタンディング系伸身跳びを、疲労回復のための休息を入れながら被験者毎に 8 回実施させた。スタンディング系伸身跳びとは、空中動作において宙返り等は行わず、伸身のままラートから跳び下りる、スタンディング系の中で最も簡単な演技で、被験者全員が問題なく実施できるものであった。分析対象試技は、踏切地点に設置したフォースプラットフォームによって地面反力を測定できた試技の中で、最も内省の良かった試技とした。

ハイスピードカメラ (NAC, HSV-500C³) を用いて、踏切位置の左側方 32m 離れた地点より、毎秒 250 コマ、露出時間 1/1000 秒にて踏切動作を撮影した。2 次元パニング DLT 法により 2 次元座標を算出するため、撮影前にキャリブレーション用のポール (高さ 3.5m, 8 個の較正点が取り付けられている) を動作面内 11ヶ所に鉛直に立て、順にパニング撮影した。また、試技の撮影中には、1m 間隔に設置した基準点を同時に写した。2 台のフォースプラットフォーム (Kistler, 9281A) をフィールド内に埋設し、撮影と同時にサンプリング周波数 1000Hz で、踏切の地面反力を計測した。地面反力データと VTR 画像を同期させるため、LED ランプを画角内に設置し、ランプからの同期信号を地面反力データとともにコンピュータに取り込んだ。

2. データ処理

1) キネマティクスの変量

撮影した VTR 画像から、身体代表点 (23 点)、ラート代表点 (6 点)、および基準点 (1 点) の計 30 点の座標値を、踏切 1 歩前から各被験者がラートから手を離すまで 4 コマ毎 (62.5Hz) にビデオ動作解析システム (DKH, Frame-DIAS II) によりデジタル化し、コンピュータに取り込んだ。2 次元座標の算出は、2 次元 DLT 法 (湯・豊島, 1997) と 3 次元パニング DLT 法 (Yu et al., 1993; 高松ほか, 1997) を組み合わせて、以下の手順で行った。

- ① パニング撮影されたキャリブレーション用の画像について、動作面内にわたって較正点と基準点

をデジタル化する。

- ② デジタル画面において、基準点の X 座標を独立変数、基準点に対する各較正点の相対座標を従属変数とした 2 次の回帰式を作成する。
- ③ 動作面内に固定した基準点を任意に選択し、試技中の身体分析点、およびラート上の点と同時にデジタル化する。
- ④ ③で読み取った基準点の座標、および②で求めた回帰式をもとにして、試技のデジタル画面に仮想的な較正点を再構築する。
- ⑤ 再構築した仮想較正点のうち、デジタル画面上に存在するものを選択して DLT パラメータを算出し、身体分析点およびラート 2 次元座標を算出する。
- ⑥ 手順③～⑤を試技の全てのコマについて行うことにより、試技全体の 2 次元座標を算出する。

以上の方法で、2 次元座標を算出した後に、3 次の自然スプライン関数を用いて、250Hz の座標データとなるように内挿補間した。なお、得られた 2 次元座標は測定点ごとに Wells and Winter (1980) の方法によって最適遮断周波数 (10~20Hz) を決定し、Butterworth Digital Filter により平滑化した。

身体分析点の 2 次元座標から、阿江 (1996) の身体部分慣性係数を用いて、部分および全身の重心を算出した。また、重心速度は、重心座標を時間微分して求めた。

足底圧力中心を始点、重心を終点とするベクトルを重心ベクトルと定義し、それが水平となす角度を重心ベクトルの角度 (θ_{cg}) とし、身体全体の前傾、後傾を表す指標として利用した。また重心とラート中心との距離から、各被験者が使用したラートの半径を減じた値を、重心とラートとの距離 ($D_{cg,r}$) として算出した。左右つま先の中点とラート中心との距離から、各被験者が使用したラートの半径を減じた値を、つま先とラートとの距離 (D_{fr}) として算出した (図 2)。胴体と水平面となす角度を胴体の角度とし、肩および肘関節の屈曲伸張角度は、左右の各関節角度の平均値とした (図 3)。

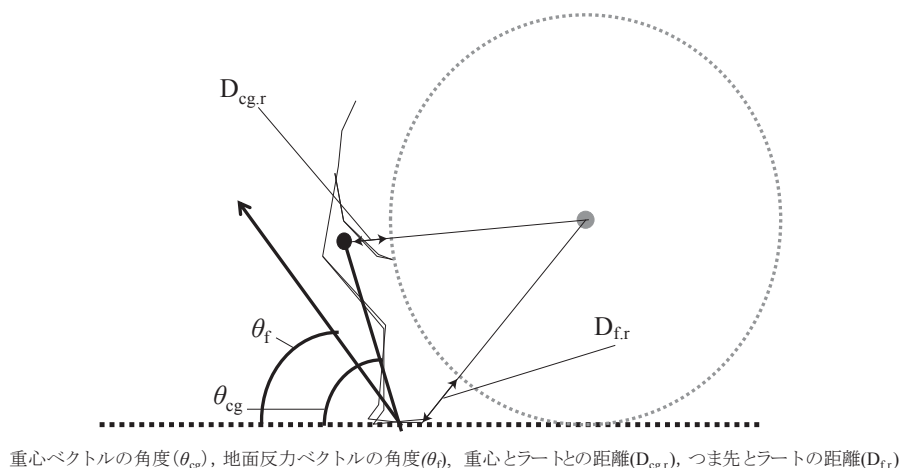


図2 ベクトル角度および距離の定義

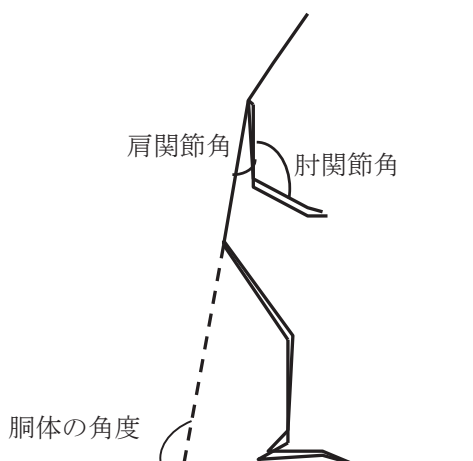


図3 身体の角度の定義

2) キネティクスの変量

2台のフォースプラットフォームについて合成した、地面反力および圧力中心を算出した。画像データに地面反力データのサンプリング周波数を合わせるために、地面反力データとして4サンプリング毎(250Hz)のデータを用いた。鉛直上方、進行方向をそれぞれ、鉛直成分、水平成分における正とした。データは、各被験者の身体質量により規格化し、地面反力ベクトルが水平面となす角度を地面反力ベクトルの角度(θ_f)とした(図2)。なおラート反力は、ラートの接線方向のみに作用すると仮定した上、ラートの角加速度変化からラート反力を算出した。

地面反力およびラート反力によって、踏切時に獲得した身体重心回りのモーメント N_{grf} および N_{rad} を、そ

れぞれ数値積分することによって地面反力およびラート反力による角力積 A_{grf} および A_{rad} を、以下の式で算出した。各値とも前方回転方向を正とし、各被験者の身体質量と身長との二乗により規格化した。

$$N_{grf} = r_{cg,grf} \times f_{gr}$$

$$A_{grf} = \sum_{i=1}^n N_{grf,i} \Delta t$$

$$N_{rad} = r_{cg,rad} \times f_{rad}$$

$$A_{rad} = \sum_{i=1}^n N_{rad,i} \Delta t$$

N_{grf} : 地面反力による身体重心まわりのモーメント

$r_{cg,grf}$: 重心ベクトルにマイナスをかけたもの

f_{gr} : 地面反力ベクトル

A_{grf} : 地面反力による角力積

n : 踏切足接地コマ数

Δt : サンプリング間隔

N_{rad} : ラート反力による身体重心まわりのモーメント

$r_{cg,rad}$: 身体重心からラート着手点へのベクトル

f_{rad} : ラート反力ベクトル

A_{rad} : ラート反力による角力積

左右上肢の関節トルクはラート反力を用いて、手から順に力の静的な釣り合い式を解くことによって算出した、左右肘関節および肩関節まわりのトルクの平均値を、各関節の発揮トルクとした。その際、それぞれ伸展を正、屈曲を負とし、値は各被験者の身体質量により規格化した。

3. 分析点の定義

ラートに着手することをHand-on, 踏切足が接地することをTouchdown, 踏切足が離地することをTakeoff, 跳び上がり局面の終末で、ラートに足が触れることをFoot-onとした(図4)。これら4つの時点を本研究における分析点とした。なおhand-onとtouchdownはほぼ同時期に行われ、被験者によりその順番が前後した。

Ⅲ. 結果

1. 各被験者の動きの特徴

図4は、各被験者のtouchdownからfoot-onまでの動きを8/125秒ごとにスティックピクチャーで示したものである。また表2は、touchdown, hand-on, takeoff, foot-onのうち、主要な時点における各被験者の胴体・肩関節・肘関節の各角度、重心とラートとの距離($D_{cg,r}$),

およびつま先とラートとの距離(D_{fr})をそれぞれ示したものである。

touchdown時では、被験者Aは $D_{cg,r}$, D_{fr} ともに低い値を示し、よりラートの近くで踏み切っていた。また、被験者A, Bはtouchdown時における D_{fr} , $D_{cg,r}$ の差が小さいのに対し、被験者C, Dは比較的大きい傾向が見られた。つまり、被験者A, Bはtouchdown時、つま先をより重心の前方に出していた。なお、被験者Cでは、左右足の接地位置が前後にずれており、前方に出された足に多くの負荷がかかっていた(図5)。

踏切時の胴体の角度について、被験者Aはtouchdown時に 100.1° を示し、この値が他の被験者と比較して最小であったことから、より上体を起こしてtouchdownしていた。またtouchdownからtakeoffにかけて、被験者B, C, Dでは胴体の角度が減少していたのに対し、被験者Aでは増加していた。すなわち、被験者B,

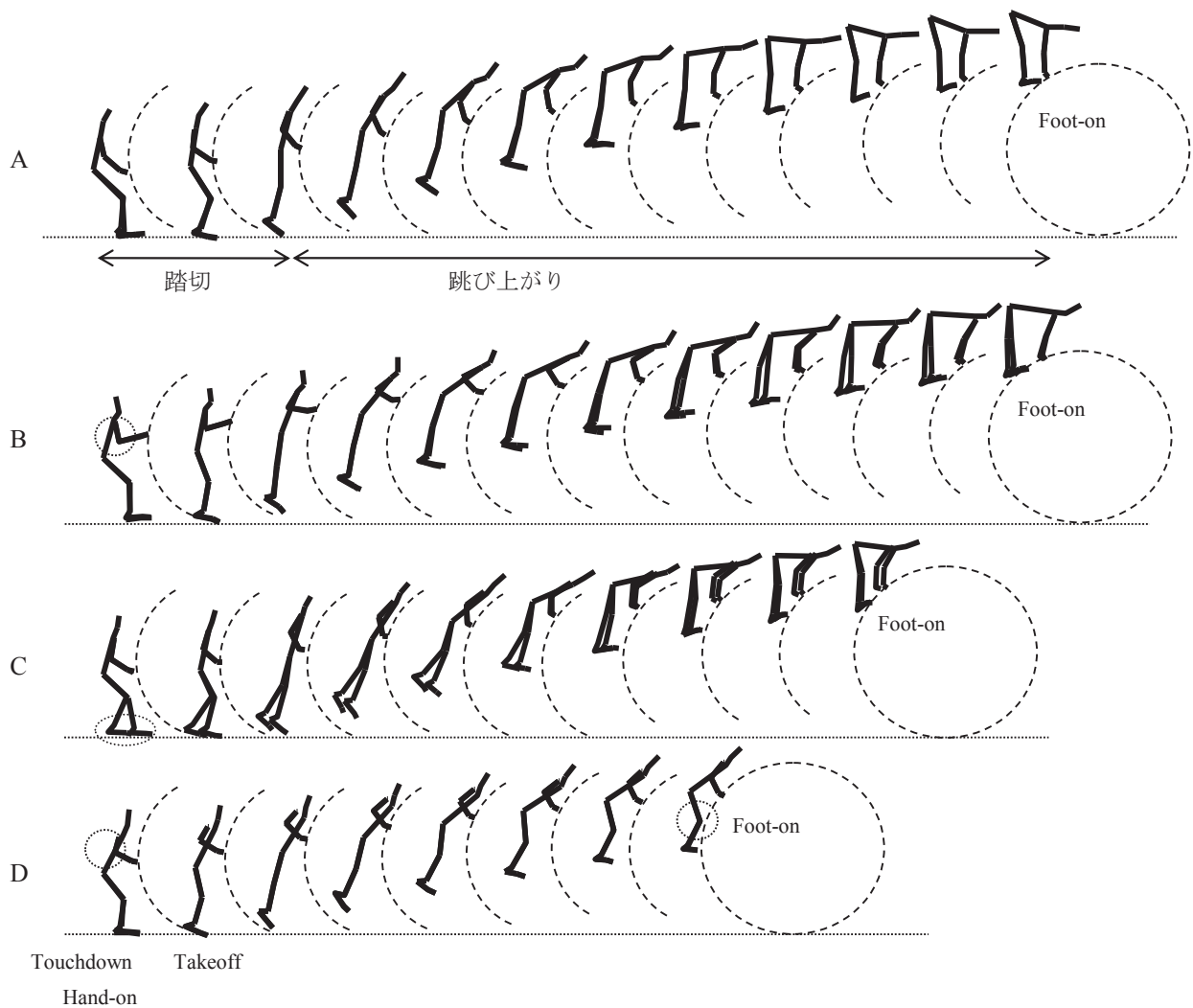
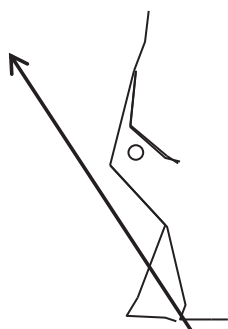


図4 各被験者の動きの全体図

表2 各被験者のパラメータの変化

	胴体の角度(°)				肩関節の角度(°)				肘関節の角度(°)				D _{gr} (m)				D _{tr} (m)			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
touchdown	100.1	108.6	105.4	111.7	-	-	-	-	-	-	-	-	0.28	0.34	0.3	0.25	0.31	0.33	0.38	0.36
hand-on	-	-	-	-	19.7	33	4.7	15	145.4	99.7	121.5	114.5	-	-	-	-	-	-	-	-
takeoff	104	102.5	103.4	104.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
foot-on	210.4	195.8	189.9	134.2	114	87.6	69.8	7.6	171.2	170.2	150.5	120.6	-	-	-	-	-	-	-	-



※図中の矢印は地面反力を示す

図5 被験者CにおけるGRFピーク時のスティックピクチャー

C, Dでは踏切期間を通して胴体が後方回転していたのに対し、被験者Aのみ前方回転をしていた。

hand-on時では、被験者A, Cは他の被験者と比較して肘関節角度が大きく、より肘を伸ばしてラートに着手していた。また、被験者Bは他の被験者と比較し肩関節の角度が大きかった。

各被験者のfoot-on時の身体重心高は、A, B, C, Dそれぞれ2.49m, 2.45m, 2.15m, 1.7mであったが、被験者A, Bでは跳び上がり局面の時間が長くfoot-on時の重心の位置もより高かった。同時に被験者Aではfoot-on時における肩関節および肘関節の角度が最も大きく、それにより胴体の角度も210.4°と最も大きかった。つまり被験者Aでは、腰が肩に対してより高い位置であった。被験者Dに関しては、跳び上がり局面の時間が極端に短く、foot-onの際には膝関節が大きく屈曲していた。

2. 水平と鉛直の重心速度の関係

図6は踏切における、水平と鉛直の重心速度の関係を示しており、同図の横軸は水平速度、そして縦軸は鉛直速度を示した。

被験者共通の傾向として、touchdown時に水平速度が最大であり、takeoffに向かって水平速度が減少するとともに鉛直速度が増加していた。

また、touchdown時、被験者A, Cが大きな水平速

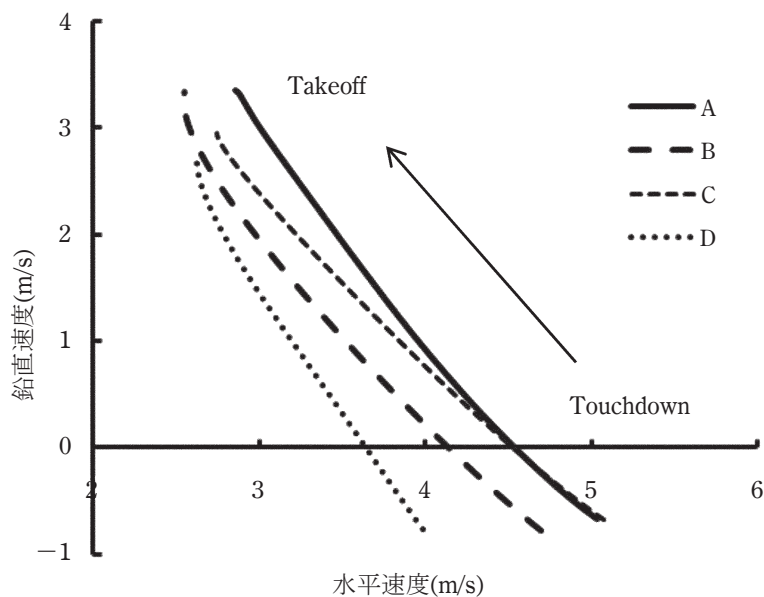


図6 水平と鉛直の重心速度の関係

度を示した。しかしtakeoff時には、被験者Aが水平速度の減少を抑えながら、大きな鉛直速度を獲得していたのに対して、被験者Cでは水平速度の減少が被験者Aより大きく、鉛直速度の増加は小さかった。被験者Bでは、touchdown時の水平速度は被験者A、Cに比べ小さかったが、takeoff時に獲得した鉛直速度は、被験者Aに近かった。被験者Dではtouchdown時の水平速度が顕著に低く、takeoff時にかけての水平速度の減少は小さかったが、takeoff時の鉛直速度は被験者Cと同様に小さかった。

3. 重心ベクトルの角度 (θ_{cg})、地面反力ベクトルの角度 (θ_f) の変化

θ_{cg} および θ_f の角度変化を図7に示した。なお、同図の横軸はtouchdown時を0%、takeoff時を100%として規格化した時間であった。 θ_{cg} が 90° 未満の場合を後傾、 90° 以上の場合を前傾とした。

θ_{cg} の変化は、すべての被験者においてtouchdownからtakeoffにかけて徐々に角度が大きくなっていった。また、特に50%付近までの踏切前半では、被験者A、BはC、Dと比較し大きく後傾していた。takeoff時の重心ベクトルは、被験者Aではほぼ鉛直、被験者Bではやや後傾、そして、被験者C、Dではやや前傾であった。

θ_f の変化は、すべての被験者においてtouchdownからtakeoffにかけて徐々に角度が大きくなっていったが、特に波形が整う20%以降は、被験者A、Bでは被験者C、Dに比べてその角度が小さかった。

4. 肘関節、肩関節トルクの変化

各被験者の肘関節と肩関節トルクの時間変化を図8に示した。なお、同図の横軸はhand-on時を0%、takeoff時を100%として規格化した時間であった。

まず、被験者A、Cはhand-on直後、肘関節および肩関節屈曲トルクをわずかに発揮し、その後大きな肘関節伸展トルクならびに比較的小さな肩関節伸展トルクを発揮していた。

次に、被験者Bは踏切期間を通して、大きな肘関節および肩関節伸展トルクを発揮していた。また、被験者Dは、hand-on直後、肘関節および肩関節伸展トルクをわずかに発揮し、その後、大きな肘関節ならびに肩関節屈曲トルクを発揮しており、被験者A、Cとは逆の変化パターンを示した。

5. 踏切で獲得した角力積

各被験者が踏切時に獲得した身体の角力積を図9に示した。なお、角力積は地面反力による成分、ラート反力による成分、およびその合計に分けて示した。

踏切で獲得した角力積は、大半が地面反力による成分であり、ラート反力による成分は、後方回転を生じさせる負の値であった。

地面反力による角力積は被験者Aが最も大きく、被験者C、Dは小さく、被験者Bはその中間であった。全成分の合計も同様の結果であった。なお、ラート反力による後方回転の角力積は、被験者Bが比較的大きかった。

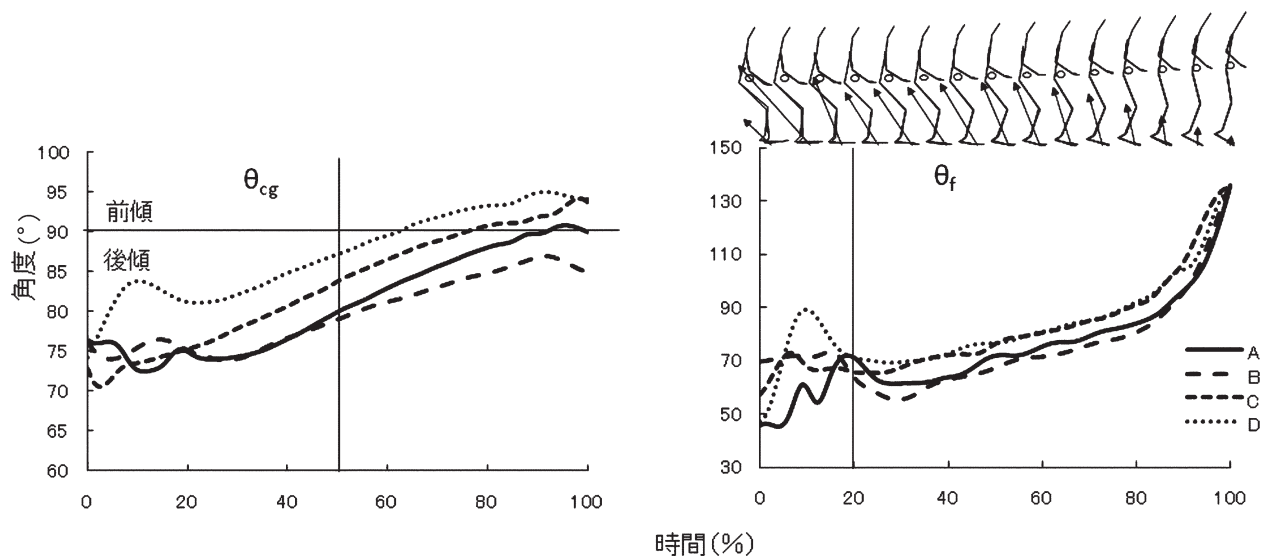


図7 θ_{cg} および θ_f の変化

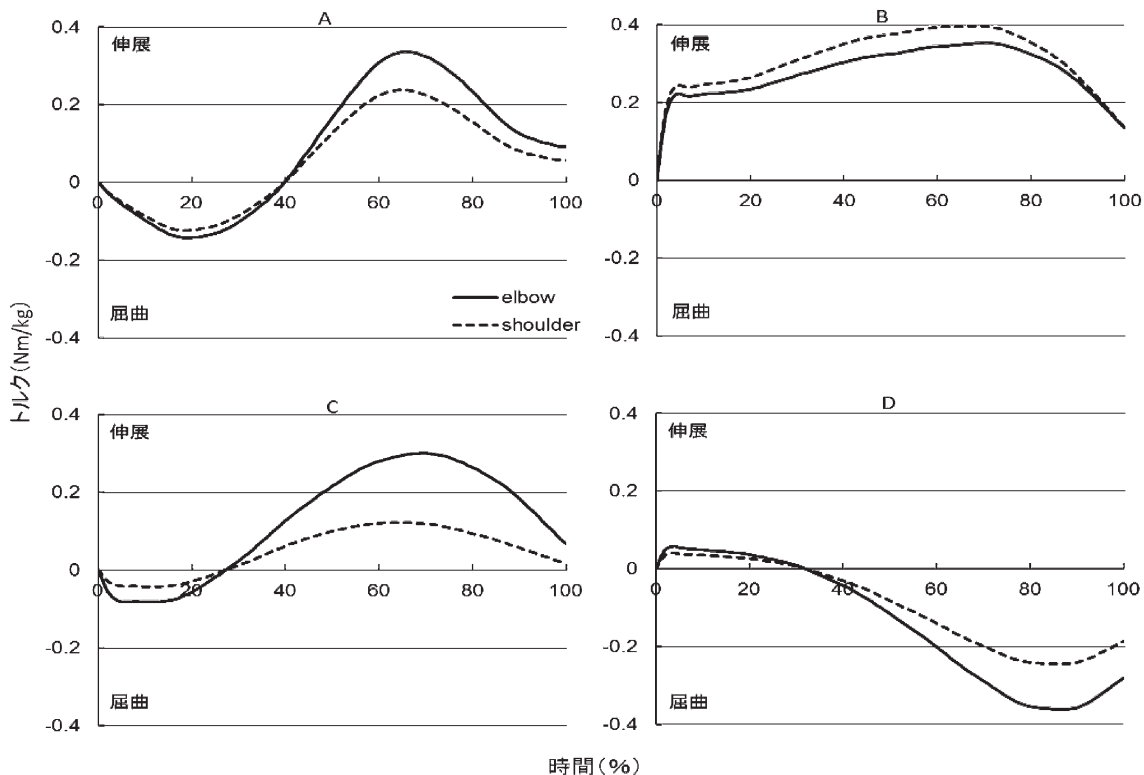


図8 肘関節, 肩関節トルクの変化

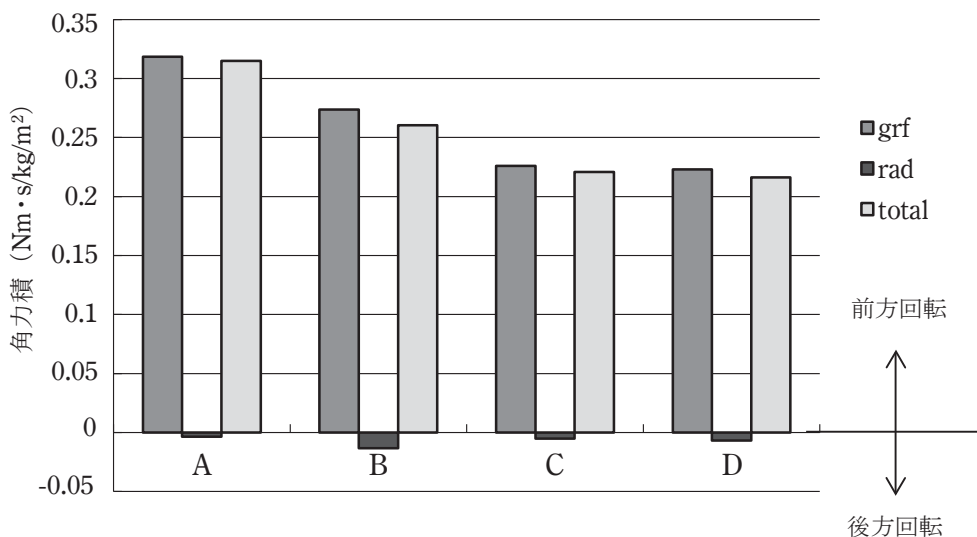


図9 踏切時に獲得した角力積

IV. 考察

先に示した通り, 採点規則において「跳び上がりの雄大さ」は, ラート競技跳躍特有の要求事項であった. ここでは, 雄大な跳び上がりに必要と思われる要素を①高く跳ぶ②足先を高く上げる③腰を高く上げる

という3つの動きに分け, それらを実現させるための踏切技術の特長を考察することとした.

1. 高く跳ぶための技術

跳躍の採点では, 踏切による跳躍高が低いために低い位置でラートに足が触れ, 跳び上がり局面が短く

なった場合、跳び上がり局面の不足として大きく減点される。高く跳ぶことは跳び上がり局面を長くし、さらにfoot-on時に膝が屈曲することを防ぐが、そのためには、踏切において重心の大きな鉛直速度を獲得する必要がある。被験者AおよびBでは、takeoff時の重心の鉛直速度が大きく、foot-on時における重心の位置がより高かった。阿江ほか(1983)は、踏切における身体重心の鉛直速度を生み出すための動きとして、①身体の屈曲伸展、および②身体の起こしを挙げている。

被験者Aは上体をより起こし、さらに足先をより前方に出してtouchdownすることで重心ベクトルを大きく後傾させており、そしてtakeoff時には重心ベクトルが鉛直にまで起きていた。Aは踏切時に重心ベクトルを後傾させることによりブレーキをかけ、主に身体の起こしを利用して、助走により得られた大きな水平速度を鉛直速度へ変換させていたと考えられる。被験者BはAと同様、踏切前半に重心ベクトルが大きく後傾していたものの、後傾を残したままtakeoffしており、身体の起こしによる速度の変換が不十分であった。しかし、takeoff時にはAと同様に大きな鉛直速度を獲得していたことから、Bに関しては鉛直速度の獲得にあたり、身体の屈曲伸展動作も大きく貢献していたものと推測される。被験者C、Dでは、踏切前半に重心ベクトルの後傾が不十分であったため、takeoff時には重心ベクトルがやや前傾していた。これは着手後、ラートの回転とともに身体が前方へと移動したものと考えられる。また、被験者Cは、踏切の際に左右の足先がずれており、左右脚に負荷が等分に分配されていなかった。このため、高負荷側の脚にかかる負担が左右均等負荷時に比較して大きくなることから、結果として両脚が揃っている場合と比べて、大きな力を発揮できなかったものと考えられる。

踏切において身体の起こしを利用することが、跳び上がりの高さを出すために有効であると考えられるが、踏切の最中もラートが前方に回転するという特殊性から、takeoff時における身体とラートの位置関係を予め配慮した上でtouchdownしなければならない。takeoff時に、ラートの回転とともに身体が前傾しないように、トレーニング時には、より足先を前方に出したtouchdownの姿勢を認識しておく必要がある。

2. 足先を高く上げるための技術

前述したように、跳び上がり局面が短いことは大きな減点要因となる。跳び上がり時、高く跳ぶことに加

え足先を高く上げることは、足の浮遊時間を長くし、跳び上がり局面を長くすることにつながる。足先を高く上げるためには、重心高を大きくするとともに身体を前方へ回転させることが必要である。言い換えれば、踏切の際、身体重心回りのより大きな正の角運動量を得ることが必要である(石井, 1997; 土屋ほか, 2004)。

被験者AおよびBは、踏切時に大きな正の角力積を獲得していた。両者は足先を重心のより前方に出し、重心ベクトルを大きく後傾させて踏み切っていたが、それにより地面反力ベクトルの角度を抑え、重心と地面反力ベクトルとの距離を大きくしたということが、大きな角力積を獲得できていた一つの要因と考えられる。それに対し被験者C、Dは、踏切時の後傾が小さかったために、重心と地面反力ベクトルとの距離が小さくなり、あまり大きな角力積を獲得できなかったものと考えられる。

3. 腰を高く上げるための動き

foot-on時における腰の位置が肩の位置よりも低い場合は、大きな減点となる。また、高く跳ぶこと、足先を高く上げることに加え、腰の位置を高くすることは、跳び上がり局面を長くし、さらにfoot-on時に膝の屈曲を防ぐ。腰を高く上げるためには、跳び上がり局面において肘関節を伸展し、さらに肩関節を屈曲させる必要がある。被験者Aではfoot-on時に肘関節が伸展し、肩関節が他の被験者と比較して大きく屈曲しており、その腰の位置も高かった。

踏切の最中もラートは前方に回転するため、その回転に抵抗しようと、肘関節および肩関節伸展トルクが通常発揮される。しかしそのような中でも被験者AおよびCは被験者Bと比較し、肩関節伸展トルクを小さく抑えられていた。hand-on時、被験者AおよびCは被験者Bと比較して、肘関節および肩関節を伸展させてラートに着手していたが、この姿勢によりラート反力による肩の屈曲モーメントが小さくなり、踏切時における肩関節伸展トルクを発揮を小さく抑えられていたのであろう。

被験者Bは踏切時、終始大きな肘関節および肩関節伸展トルクを発揮していた。被験者Bはhand-on時に肘関節および肩関節を大きく屈曲させて着手していたため、ラート反力による肘および肩の屈曲モーメントの影響を強く受けたといえる。同時にラートの鉛直反力を利用し、肘および肩関節の伸展動作により重心の鉛直速度を得たものと考えられるが、肘を過度に曲げ

での着手は、採点規則上で減点対象となる。被験者Bは、takeoff時の重心の鉛直速度が大きく、さらに踏切で獲得した前方回転方向の角力積が大きかったことから、結果的に跳び上がり局面において肩関節が比較的大きく屈曲したものと推測される。

被験者Dは踏切後半、肘関節および肩関節屈曲トルクが出現していた。touchdown時の後傾が不十分だったため、踏切後半には重心ベクトルの前傾が現れたが、それに伴い、身体が前方に倒れる動きに抵抗するような力発揮が現れたものと推測される。

減点の少ない踏切姿勢により、跳び上がり局面において腰を高く上げるためには、予め肘を伸ばし、脇を締めて着手することで、ラート反力による肩の屈曲モーメントの影響を少なくすることが重要である。その姿勢は肩関節の伸展トルクを小さく抑え、跳び上がり局面において肩関節を屈曲させやすくすることにつながる。また大きな重心の鉛直速度、および前方回転方向の角力積の獲得は、跳び上がり局面において肩関節を屈曲させやすくするといえる。

V. 結 論

本研究の目的は、跳躍スタンディング系において異なる動作の特徴を有する選手を対象として、その踏切動作をバイオメカニクス的に比較分析することにより、雄大な跳び上がりに有効な技術的特長を事例的に探ることであった。

本研究で得られた有効な技術的特長をまとめると、以下ようになる。

- ① 高く跳ぶために、踏切時、身体の起こしを利用することにより、助走で得られた水平速度を大きな鉛直速度に変換する。そのためには、上体を起こすとともに足先を前方に出し、足底圧力中心と身体重心を結ぶベクトルである重心ベクトルを、大きく後傾させて踏切る。加えて、ラートは踏切の最中も前方へ回転するため、takeoff時に身体が前傾しないよう、touchdownの際にはラートと身体の適切な位置関係を配慮する必要がある。
- ② 足先を高く上げるために、踏切時、身体重心回りにおける前方回転方向のより大きな角力積を獲得する。そのためには、①と同様の姿勢で踏切ることにより、地面反力ベクトルの水平成分を大きくする。
- ③ 腰を高く上げるために、踏切時、予め肘を伸ばし、脇を締めて着手することで肩関節の伸展トルク

クを小さく抑え、跳び上がり局面において肩関節を屈曲させやすくする。また踏切時における大きな重心の鉛直速度および前方回転方向の角力積の獲得は、跳び上がり局面における前述の動きを助ける。

本研究では、ラート競技における跳躍特有の要求事項である、跳び上がりの雄大さに必要な要素を、「高く跳ぶ」「足先を高く上げる」「腰を高く上げる」という3つの動きに分けた。そして、それらを導く力学的な原理を、異なる動作の特徴を有する4人の跳躍事例から明確にし、踏切のポイントを示すに至った。今後、各ラート選手に対する技術の修正を行う上では、本研究で明らかになった踏切技術の力学的要点を踏まえ、各選手の内的イメージが喚起されるような指導言語を用いた指導、さらに、実践的なトレーニング法の考案が求められる。また本研究においては、男女差や各被験者の筋力差を配慮した分析は行っていない。今後被験者を増やし、それらを加味したより詳細な分析が望まれる。

文 献

- 阿江通良・渋川侃二・石島繁・橋原孝博 (1983) 高さをねらいとする跳のバイオメカニクスの特性—垂直跳、バレーボールのスパイクジャンプおよび走高跳びの踏切の比較—。日本バイオメカニクス学会編 身体運動の科学—スポーツバイオメカニクスへの挑戦—。杏林書院：東京, pp.182-188.
- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数。Japanese Journal of Sports Science, 15 (3) : 155-162.
- 赤羽綾子・野口泰博 (1982) 女子跳馬の踏切り技術に関する運動形態学的研究。東海大学紀要体育学部, 12 : 29-33.
- クヌッドソン・モリソン：阿江通良監訳 (2007) 動きの質的分析入門。ナッブ：東京, pp.17-24. (Duane V. Knudson, Craig S. Morrison (2002) Qualitative Analysis of Human Movement SECOND EDITION)
- 深瀬友香子 (2010) ラート初心者に対する指導上の留意点の提案—粗形態獲得前後に現れる特徴を基に—。体操研究, 7 : 19-29.
- 深代千之 (2001) スポーツバイオメカニクスへの招待。深代千之ほか編 スポーツバイオメカニクス。朝倉書店：東京, pp.7-8.
- グロッサー・ノイマイヤー：朝岡正雄ほか訳 (2001) スポーツ技術のトレーニング (第3版)。大修館書店：東京, pp.45-48.
- 石井善八 (1997) 科学の眼でみたスポーツ動作の隠し味。ベースボールマガジン社：東京, p.257.
- Internationaler Rhönradsport-Verband (Ed.) (2010) IRV Vault regulations 2010. Internationaler Rhönradsport-Verband:Bern, p.8.

- 日本ラート協会編 (2010) ラート競技採点規則2010. 日本ラート協会:東京, pp.13-26.
- 大塚 隆・長谷川聖修・板垣了平 (1990) ラート運動 (RHÖNRAD TURNEN) の動作分析—前方回転における成功試技と失敗試技の比較検討から—, 日本体育学会大会号, 41B:628.
- 大塚 隆 (1991) ラート運動 (RHÖNRAD TURNEN) の体系化について, スポーツ方法学研究, 4 (1):73-79.
- 大塚 隆・鈴木昭寿 (1993) ラート競技 (RHÖNRAD TURNEN) の国際動向に関する報告, 東海大学紀要体育学部, 23:61-70.
- 佐野真也 (2007) 体操跳馬の踏切動作, 体育の科学, 57 (7):511-515.
- 佐野真也・池上康男・布目寛幸・桜井伸二 (2009) 跳馬の前転とびにおける踏み切り動作の運動力学的研究, 岐阜市立女子短期大学研究紀要, 58:49-52.
- 高松潤二・阿江通良・藤井範久 (1997) 大きな計測範囲のためのパンニングDLT法の開発, 体育学研究, 42:19-29.
- 土屋 純・田中 光 (2004) 平行棒における「懸垂前振り後方
かかえ込み2回宙返り腕支持 (バーレ)」の運動力学的分析, スポーツ科学研究, 1:1-9.
- Wells,P.R. and Winter,D.A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. Human Locomotion, I .1:92-93.
- 山田 哲・阿江通良・藤井範久・渡辺裕人・土屋 純 (1999) 前転とび前方かかえ込み2回宙返りの踏み切り局面と着手局面の関係, 日本体育学会大会号, 50:739.
- Yu, B., Kou, T.J. and Hay, J.G. (1993) A panning DLT procedure for three-dimensional videography. Journal of Biomechanics, 26 (6):741-751.
- 湯 海鵬・豊島進太郎 (1997) 2次元DLT法の応用, 問題点及び測定精度, Japanese Journal of Biomechanics in Sports and Exercise, 1(1):24-29.
- 財団法人日本体操協会 審判委員会 女子体操競技審判部 (2009) 採点規則 (女子) 2009年版, 財団法人日本体育協会編 体育スポーツ総覧, ぎょうせい:東京, pp.1201・48-1201・49.

平成23年4月11日受付

平成24年1月22日受理