スポーツパフォーマンス研究, 10, 127-144, 2018

大学女子棒高跳競技者における異なるポール湾曲率を導いた踏切・フォロースルー動作の事例分析
－動作改善の取組過程及び動作分析を通して－

青柳唯, 金高宏文, 小森大輔, 加藤忠彦
鹿屋体育大学

キーワード:ポールベンディング, 跳躍角, 左腕の動作意識

【要　旨】

本研究は, ある女子棒高跳競技者が 3.60mから 3.80mまで記録を伸ばしたパフォーマンスの向上に関する基礎的要因について分析・検討した. また, 実施者における実際の取組期間内での動作変化を導いた動作意識と合わせることでより実践的な知見が得られると考えた.

その結果, 女子競技者はポール最大湾曲率を 16%から 26%へと変化させることで, より高い最大重心高を獲得していた. そして, ポール最大湾曲率には, 女子競技者において跳躍角と, 右手を中心とした身体重心の振る舞いや右肩を中心とした胴体の振る舞いが関係していた. この時, 跳ぶ出す方向や左腕の運動意識とも大きく関連していた. 具体的には, 踏切離地時にできるだけ低い跳び出しと踏切・フォロースルー動作時の左腕を突っ張らないことであった.

スポーツパフォーマンス研究, 10, 127-144, 2018 年, 受付日: 2017 年 6 月 28 日, 受理日: 2018 年 6 月 14 日
責任著者:金高宏文　〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町 1 番地 kintaka@nifs-k.ac.jp

* * * * *

Take-off and follow-through movement leading to different pole bending rates in university women's pole vaulter: Through action improvement and motion analysis

Yui Aoyagi, Hirofumi Kintaka, Daisuke Komori, Tadahiko Kato,
National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key words: pole bending, takeoff angle, motion consciousness of left arm

[Abstract]

The present study analyzed the fundamental factors of the improvement of performance and training for a university female pole vaulter who improved her record 3.60m to 3.80m. The motion of pole vaulting was analyzed, and it was compared with

changes in the intentions of movement during the period of training.

The results were as follows: The female pole vaulter acquired higher the center of gravity (CG) height by changing ratio of maximal pole bending (MPB) 16% to 26%. MPB was significantly correlated with takeoff angle ($r=-0.769$, $p<0.1$) .CG motion around right hand and trunk motion around right shoulder also affected to MPB. Those motions were correlated with intentions of movements on takeoff angle and the left arm. In addition, getting low takeoff angle was important to change intentions of movements of left hand in takeoff and follow through phases. These observations suggest that it is to jumping out at the takeoff angle as low as possible at the time of takeoff and not to stick the left arm at the time of follow through operation.

Ⅰ. 研究の背景と目的

棒高跳における跳躍高を構成する要素は,「有効グリップ高(グリップ高から地面とボックスの深さ 20 cmを差し引いたもの)」と有効グリップ高からバーまでの「抜きの長さ」である(木越ほか, 2007)(図 1).

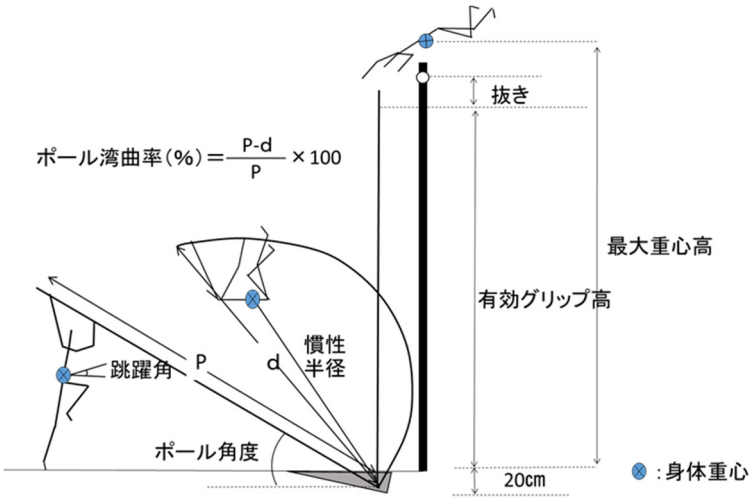

図 1. 棒高跳における跳躍高を構成する要素

有効グリップ高を高くするためには, 助走速度や踏切速度を大きくすることに加えて, ポールをより大きく湾曲させることが重要になる(木越ほか, 2007). ポールの大きな湾曲は, ボックスに接するポールの先端とポール・競技者の質量中心との長さである「慣性半径」を短くし, ポール・競技者の質量中心の軸を前方へ回転しやすくさせ, ポール・競技者の質量中心の軸を垂直まで起きやすくする. また, 結果として競技者がマットに安全に着地できることを確保しているとされている(木越ほか, 2013). さらに,「抜きの長さ」は, ポールの最大湾曲率が 30%くらいのときポールの反発力が最も得られる(武田ほか, 2005)ことから, ポールの湾曲率が影響するとも考えられている.

つまり, 棒高跳の記録を伸ばすには「より大きなポールの反発力が得られる硬いポールで, 高いグリップ高を持ち, 最大湾曲率 30%までポールを曲げること」が重要となる.そのためには, 長くて硬いポールを使用することが求められ, 高い助走速度や体重の割に応力(反力)の大きなポールを使用するなどの身体的及び体力的なリソースが必要となる(木越ほか, 2013). しかし, そのようなポールは実際には曲がりにくいので, 慣性半径は長くなりポール・競技者の質量中心の軸は起きづらくなる.

では, どのようにすれば硬いポールを 30%程度の湾曲率まで曲げて, より大きな反発力を獲得できるのであろうか？

村木(1982)によれば, 慣性半径は競技者の踏切からその後の動作(以後,「踏切・フォロースルー動作」とする)によって短くすることが可能としている. 例えば, 踏切後の肩・肘関節が伸び, できるだけ高いポールの保持, 腹部のコントラクション(締め), 踏み切り脚の十分な伸びと後方への残し, そして, リード・レッグのピック・アップ(踵の抱え込み)が効いた強力な引き出しなどの動作が重要としている. また, 高松ほか(1998)は, 4.00～5.35mの男子棒高跳競技者の分析試技より, ポール湾曲局面において下側の握り腕でポールを押すことは, ポール弦反力が小さくなるので, 水平方向のボックス反力を小さくでき, 競技者・ポール系の水平速度の減少を軽減できると述べている.ここでのポール弦反力とは, ボック

ス反力ベクトルをポールの弦方向に投影して得られる力のベクトルに対して，大きさが等しく，逆向きの力のことをいう．さらに，ポール湾曲量(ポールの湾曲の大きさを示す)を増大し，ポール下端まわりの競技者・ポール系の慣性モーメントを小さくすることができるとしている．つまり，「下側の握り腕（筆者の場合は左手・腕）でポールを押す」ことが重要なことを示唆している．

一方，武田ほか（2007）は，ポール湾曲局面でポール弦反力を大きくするためには，競技者のスウィング力が重要としている.それには身体のコントロールを容易にするペネトレーションが有効で，伸縮スウィング力(グリップと身体重心の距離を大きくする動作の力の大きさ)を大きくすることが重要としている．具体的には，踏切離地時の姿勢を一時的に維持し，スウィング動作開始のタイミングを遅らせることが有効で，踏切離地時に身体を後方に反らし(踏切脚を後ろに残し)，上側のグリップと重心の距離を大きく保つような能動的なスウィング動作を行うイメージとしている．

筆者は，大学 3 年次から 4 年次にかけてポール湾曲の改善に前述の知見を手掛かりとしながら試行錯誤して取り組み，3.60mから 3.80mへと記録を向上させることができた(図 2)．その間に，筆者はポールの湾曲を改善する取組期間で，動作意識が変更される毎に棒高跳の跳躍試技について可能な限り動作分析用の撮影を行っていた．女子棒高跳競技者に関する研究や事例報告（木越ほか，2003;高丸ほか，1998）が少ない状況を鑑みると，筆者のポール湾曲改善の取組期間における踏切・フォロースルー動作の変化に関する知見は，今後のトレーニングや指導の有益な知見となると考えられる．

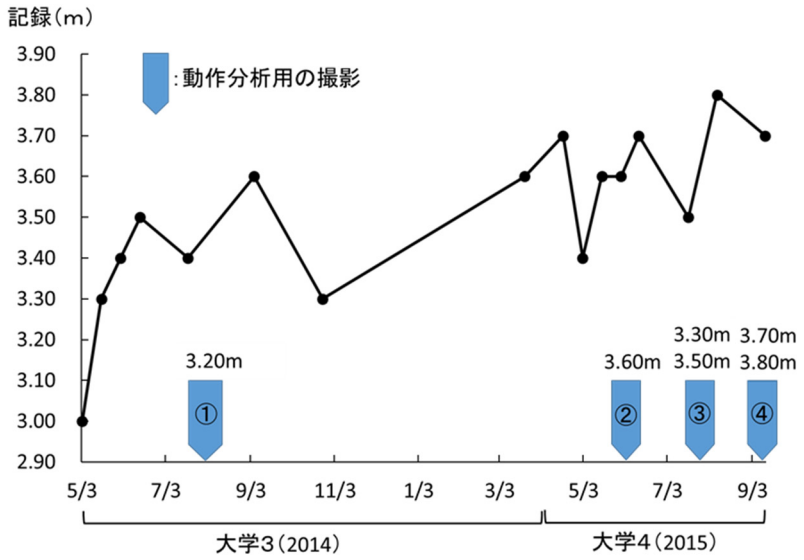

図 2．記録の変遷

そこで本研究は，女子棒高跳における適切なポール湾曲を導く踏切・フォロースルー動作に関する客観的な知見を得るために，一人の女子棒高跳競技者におけるポール湾曲改善の過程を報告するとともに，異なるポール湾曲率の試技と踏切・フォロースルー動作との関係について事例的に検討を行った．

Ⅱ. 方法

1. 対象者

研究の趣旨に同意する大学女子棒高跳競技者1名(筆者自身)を対象とした(以降, 女子競技者とする).

女子競技者の棒高跳の競技記録は, 3.80m(2014 年度日本ランキング 9 位相当)であった. 女子競技者のプロフィール等は, 表 1 に示す通りであった.

表 1. 女子競技者のプロフィール

対象者	性別	身長 (m)	体重 (kg)	棒高跳 最高記録 (m)	棒高跳 経験年数 (年)	100m 記録 (秒)	立五 段跳 (m)	ベンチ プレス (kg)	クリーン (kg)	スナッチ (kg)	備考 (2014年度日本ランキング相当)
女子競技者	女	1.63	58.0	3.80	4.5	13.33	11.45	70	65	40	9位

2. 撮影及び撮影試技

女子競技者は, 表 2 や図 2 に示すようなポール湾曲の改善に取り組んだ期間を代表する大会や練習で撮影を行った. 分析試技の情報は表 2 に示した.

表 2. 分析対象とした分析試技

撮影状況			試技名	使用ポール					体重 (kg)	助走		
年月日	状況	挑戦記録 (m)		グリップ高(m)	種類	固さ (lbs)	長さ(ft) [m]	適正体重 (kg)		歩数 (歩)	補助走歩数 (歩)	距離 (m)
2014/8/4	学内練習	3.20	①3.20	3.60	CARBON	135	13.6 [4.15]	61	58.0	12	0	23.00
2015/5/30	学内試合	3.60	②3.60	3.80	CARBON	135	13.6 [4.15]	61	58.0	16	0	31.85
2015/8/3	学内練習	3.30	③3.30	3.65	CARBON	135	13.6 [4.15]	61	58.0	14	0	28.10
	学内練習	3.50	③3.50	3.80	SPIRIT	140	13.1 [4.00]	63	58.0	14	0	28.20
2015/9/11	学外試合	3.70	④3.70	3.85	SPIRIT	125	14.0 [4.27]	57	58.0	14	4	30.00
	学外試合	3.80	④3.80	3.85	CARBON	130	14.0 [4.27]	59	58.0	14	4	30.00

学内で実施した跳躍試技は, 図 3 に示すようにボックスから助走路に向かって 3m地点から右側方20mの地点にデジタルビデオカメラ(IVIS HF G10, CANON 社製)を設置し, 撮影速度毎秒 60 フィールド, シャッタースピード 1/1000 秒で撮影した.

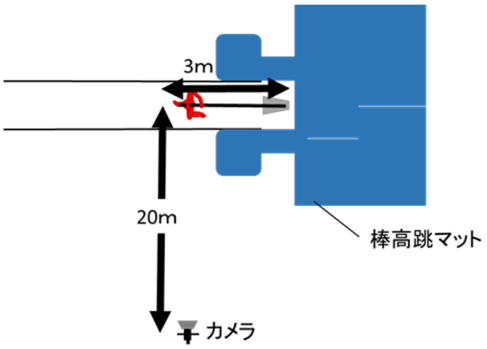

図 3 学内撮影試技の撮影方法

学外で実施した跳躍試技は, 図 4 に示すように陸上競技場のホームスタンドよりボックスを基準に側

方から撮影した．デジタルビデオカメラは学内で撮影した際に使用したもので撮影した．また，全撮影試技において高さ 2.5m（マーク間隔 1.0m）のキャリブレーションポールを図 5 の範囲中の 4 地点に立て，撮影に映し込んだ．

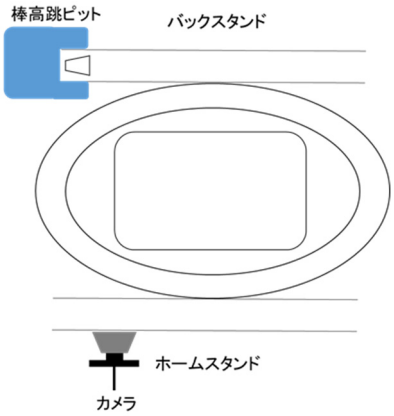

図 4 学外撮影試技の撮影方法

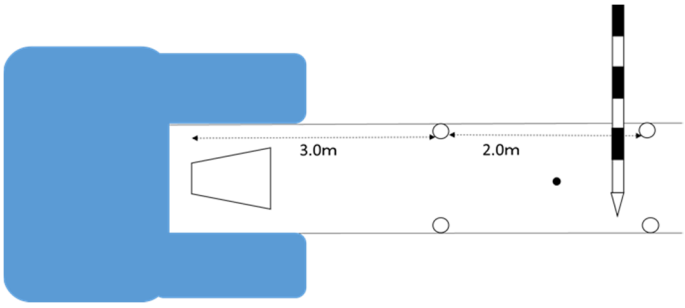

図 5 キャリブレーションの撮影

3. 分析方法

撮影した VTR 画像から，踏切 1 歩前接地瞬間の 5 コマ前から最大重心高出現時付近の 5 コマ後までの動作を，ビデオ画像解析システム（FrameDIAS V，DKH 社製）を用いて 1 コマごとに図 6 に示す身体分析部位 23 点（本山ほか，2016）をデジタイズし，2 次元 DLT 法を用いて 2 次元座標値を得た．2 次元座標値は，残差分析により計測点毎に最適遮断周波数を求め，Butterworth Low-pass Digital Filter により平滑化を行った．なお，その最適遮断周波数は，X 座標(水平)が 4.3Hz～6.9Hz，Y 座標(鉛直)が 2.94Hz～6.9Hz の範囲であった．

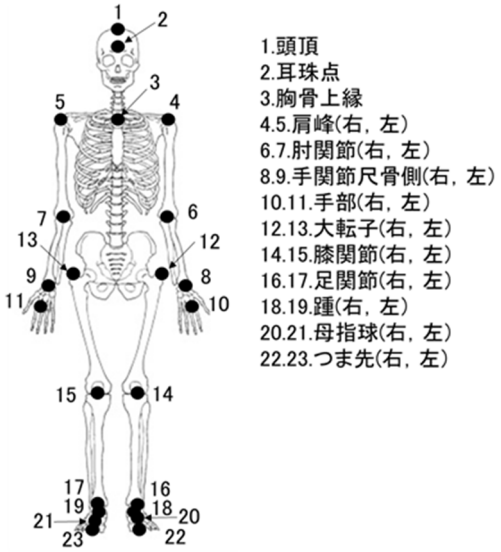

図 6 身体分析部位23点の位置

4. 分析項目

身体計測点の 2 次元座標から阿江ほか(1996)の身体部分慣性係数を用いて, 身体及び部分の身体座標を算出し, 以下の項目について求めた. なお, 分析項目は, 先行研究(武田ほか, 2005;武田ほか, 2007)を参考に,図 7 のようなパフォーマンス要因の関係図を想定し, 選択した.

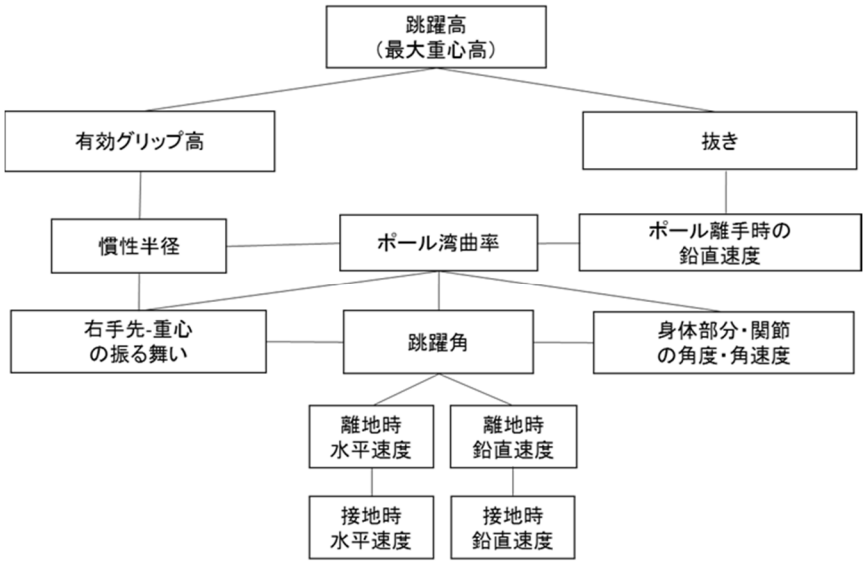

図 7 跳躍高を得るためのパフォーマンス要因

(1)最大重心高

踏切接地からバークリアランスまでに算出された身体重心の高さのうち, 最も大きい値とした.

(2)抜き

本研究では, 有効グリップ高と最大重心高の差とした.

(3)ポール湾曲率およびポール最大湾曲率

上側のグリップとポールの下端を結んだ線分の長さを弦長とし,ポール伸展時の弦長に対する各地点の弦長の割合をポール湾曲率として以下の式により算出した.また,最も湾曲が大きい時点をポール最大湾曲時とし,そのときの湾曲率をポール最大湾曲率とした.

ポール湾曲率(%)＝100-(各時点の弦長／ポール伸展時の弦長)×100

(4)水平・鉛直方向の身体重心速度

踏切接地時, 踏切離地時, ポール最大湾曲時, ポール離手時の水平・鉛直速度を求めた. また, 踏切足接地から踏切足離地までの身体重心の水平方向の速度減速率を, 以下の式で算出した.

踏切時の水平速度減速率(%)

＝(踏切離地時水平速度-踏切接地時水平速度)/ 踏切接地時水平速度×100

(5)跳躍角(θ3):踏切足離地時の身体重心速度ベクトルが水平面となす角

(6)身体の部分・関節角度及び角速度(図 8)

1) 右手を中心とした身体重心の振る舞い(θ1):右手先から重心までの線分と右手先から下した鉛直線のなす角度とした.
2) 右腕-重心角度(θ2):右手先から右肩までの線分と右肩から重心までの線分のなす角度とした.
3) 右手先-右肩角度(θ4):右手先から右肩までの線分と右手先から下ろした鉛直線のなす角度とした.
4) 右腕-胸骨上縁角度(θ5):右手先から右肩までの線分と右肩から胸骨上縁までの線分のなす角度とした.
5) 右肩-胸骨上縁角度(θ6):右肩から胸骨上縁までの線分と右肩から下ろした鉛直線のなす角度とした.
6) 体幹角度(θ7):胸骨上縁から右大転子までの線分と胸骨上縁から下ろした鉛直線のなす角度とした.
7) 左肘角度(θ8):左手首から左肘までの線分と左肩から左肘までの線分のなす角度とした.
8) 右腕-右大転子角度(θ9):右手先から右肩までの線分と右肩から右大転子までの線分のなす角度とした.
9) 右肩-右大転子角度(θ10):右肩から右大転子までの線分と右肩から下ろした鉛直線のなす角度とした.
10) 右大転子-下半身角度(θ11):右大転子から下半身中心までの線分と右大転子から下ろした鉛直線のなす角度とした.
11) 下半身中心:左右の足部, 下腿および大腿を合わせた重心の中心とした.
12) なお, 角度・角速度は反時計まわりを正とした.

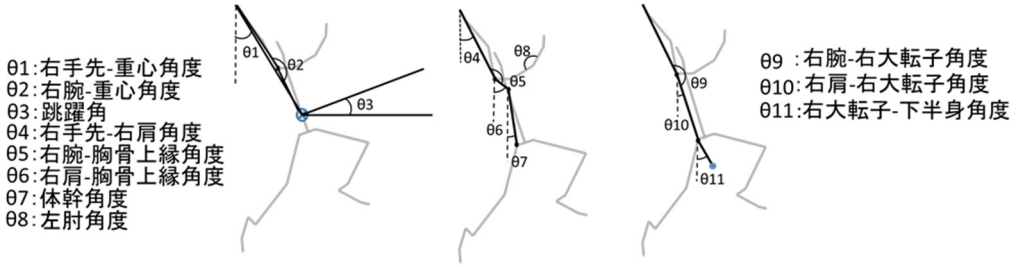

図 8 身体の部位、関節角度、及び角速度

5. 運動意識の分析

ポール湾曲の改善に取り組んだ期間を代表する跳躍試技を選定し，以下に示す運動フォーム及び運動意識の提示法（金高，2010）に従って説明資料を作成した．

(1) 運動フォームの提示法

運動フォームは，跳躍中の運動映像から連続写真を作成し，外から観た運動の主観的特徴を提示することとした．連続写真は，撮影した運動映像から運動局面の分節点の静止画を手がかりに切り出し作成した（後述の図 11,12 を参照）．

(2) 運動意識の提示法

運動中に意識している表層的・シンボル的な運動意識を時系列に「運動意識の構造」として表記した．そして，運動意識の構造をより探索的に深層の運動意識として，“～しよう”という能動的な「動きの意図」や，動きの結果として得られた“～される”といった受け身的な「動きの感じ」を，経時的に記述した（後述の図 11,12 を参照）．なお，本研究において，動きの意図は黄色，動きの感じは白色でそれぞれ統一して記述した．

6. 統計分析

分析試技における分析項目間の相関関係を調べるため,ピアソンの相関係数を求めた．なお，データ数が少ないことを考慮して，有意水準は 10%未満までとした．

7. パフォーマンス改善の取組過程の記述

取組内容は，練習日誌に書かれている動作意識や動きの感じ等を整理して記述した．また，練習時に撮影した動画とも比較し，その時の取組内容を記述した．

Ⅲ. 結果

1. 女子競技者におけるパフォーマンス改善の取組過程の概要

図 9 は，女子競技者の大学 3 年次から大学 4 年次までの棒高跳における跳躍高の変遷と技術的な取組の概要を示したものである．図 10 の矢印は動作改善の取り組みの度合いを示している．色の濃さは運動意識の度合いを示し，矢印の太さは当時の取り組みの重要度を示している．

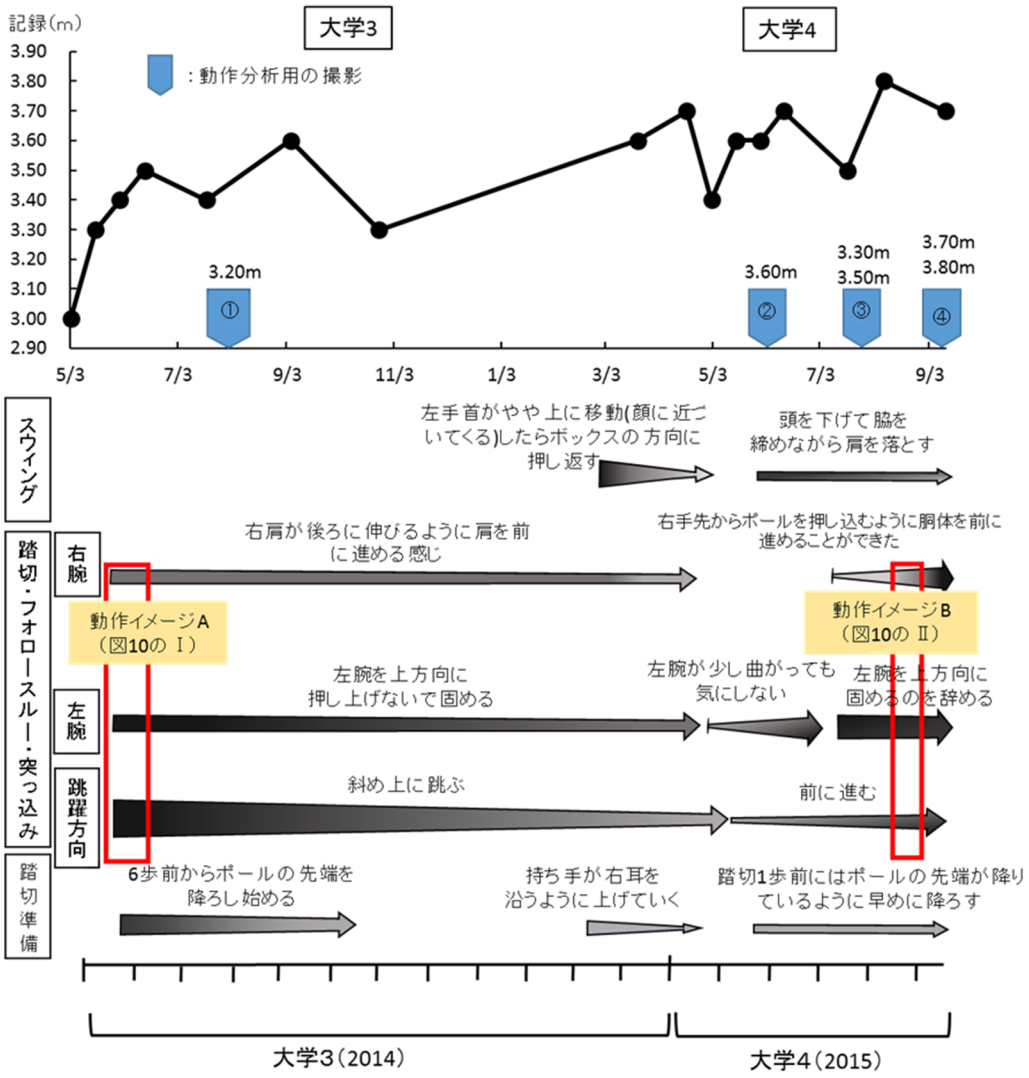

図 9 動作改善の取組み過程と動作分析用の撮影との関係

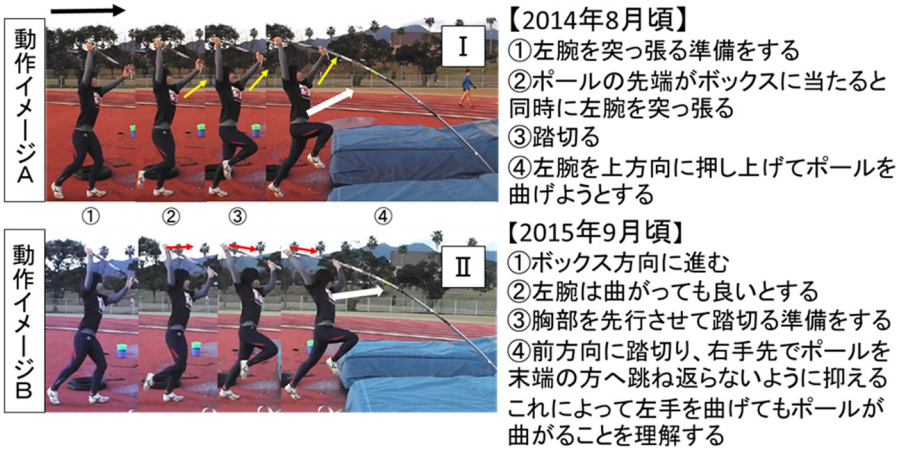

図 10 跳び出し方向の変更の動作イメージ

女子競技者は，高校 2 年次より棒高跳に取り組み，大学 3 年次 9 月の時点で 3.60m の記録を有していた．その頃，女子競技者は村木(1982)をはじめ，高松ほか(1988)や武田ほか(2007)の知見を手

がかりに「下側の握り手・腕（女子競技者の場合は左手・腕）でポールを伸ばす」「踏切離地時に踏切脚を後方に残し，上側のグリップと重心の距離を大きく保つようなスウィング動作」のイメージで踏切・フォロースルー動作を意識した．図 10 の I は，そのときの踏切・フォロースルー動作をイメージ・表現した模倣動作である(動画1)．しかし，効果的にポール湾曲を導く動作を充分理解・体得できず，30%くらいの大きなポール湾曲までには至らず，大きなポール弦反力も得られないでいた．特に，棒高跳の全習的な跳躍練習の中で，試行錯誤しながら取り組むが，「ポールが立たないという恐怖心」等も手伝ってなかなか硬いポールを用いて，30%くらいの大きな湾曲率での跳躍はできなかった．

しかし，大学 3 年次の 3 月頃より，4.23mの日本学生記録保持者の事例報告（仲田,2011）や棒高跳の踏切・スイング動作習得の補助器具の動画
（YouTube: Vault United）
などから，踏切から踏切離地時の姿勢で，「下側の握り手・腕（筆者の場合は左手・腕）は少し曲がってもよいとする」「右肩（胸部）が入り込むように，胴体が進むことを意識する」イメージへと試行錯誤しながら変更していった(動画 2)．そして，最終的には，図 10 の II のように，踏切から踏切離地時の姿勢で，「下側の握り手・腕（筆者の場合は左手・腕）は曲がってもよいとする」「自分から，右肩を開こうとせず，上側の握り手（右手）がポールを押し込むように胴体(胸部)を前に進める」イメージへと変更してすると，補助走を加えることによる助走速度の向上の相まって，30%くらいの大きな湾曲率での跳躍ができるようになり，3.80m へと自己記録を更新することができた．補助走は図 2 の大学 4 年次の③から④間の時期から走り出す前に 4 歩小走りをするように走り出しのスピードを上げるために行った．

2. 運動意識の分析

図 11 は大学 3 年次 8 月に 3.20mを跳んだ際の試技の運動意識を示したものである(動画 3)．それと比較して図 12 は大学 4 年次 9 月に 3.80mを跳んだ際の試技の運動意識を示したものである(動画 4)．

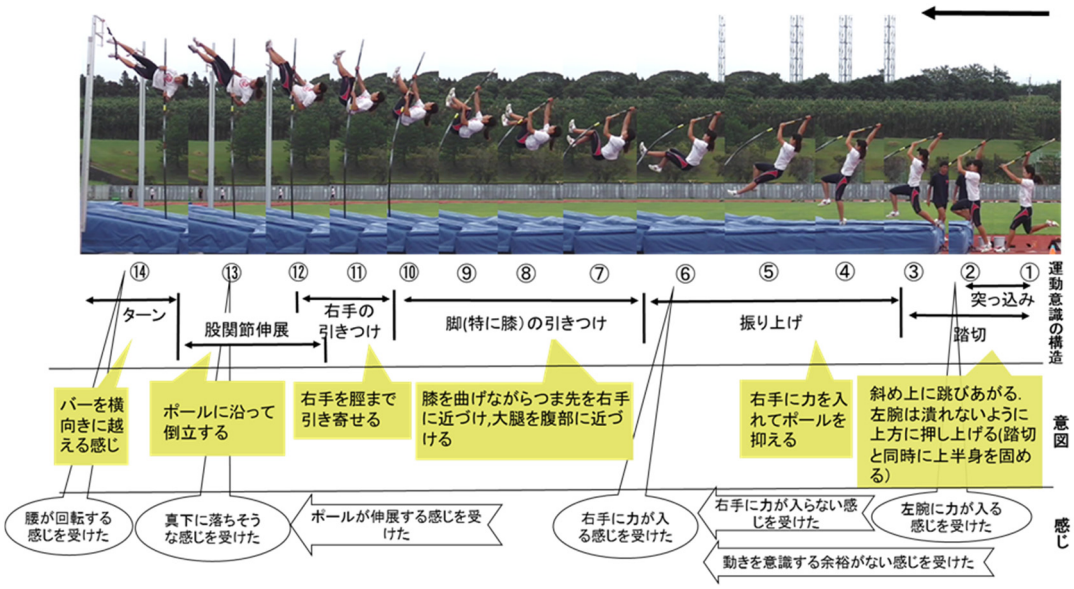

図 11 大学3年次に 3.20m を跳んだ際の運動意識の概要（2014 年 8 月）

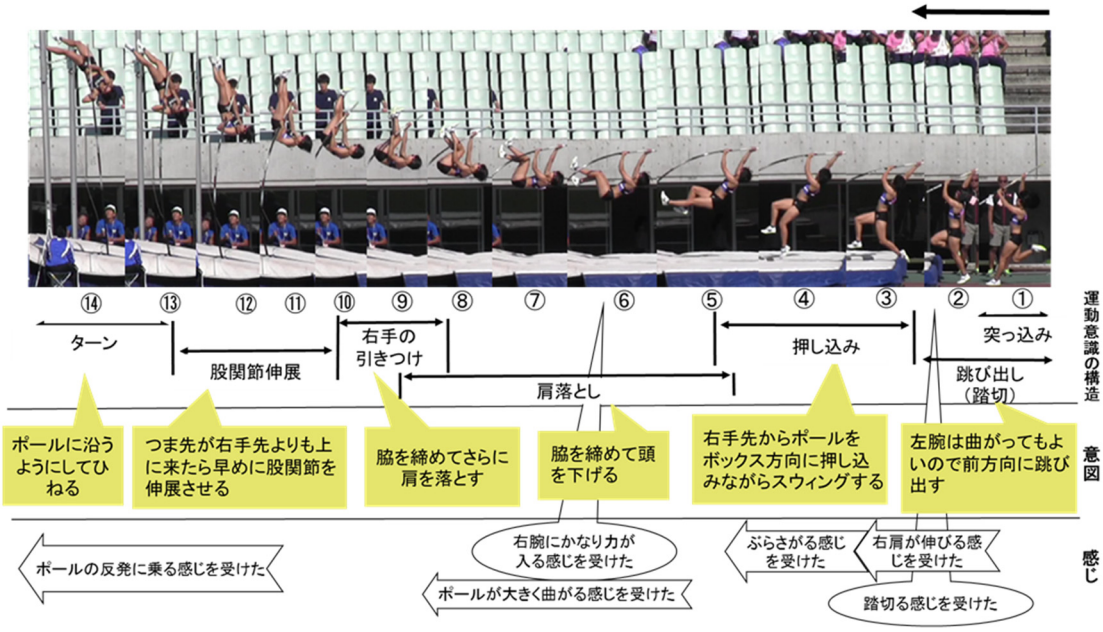

図 12 大学4年次に 3.80m を跳んだ際の運動意識の概要(2015 年 9 月)

3. 動作分析の結果

表 3 は, 分析試技における各分析項目の値を示したものである.

分析試技の最大重心高は, 3.03～4.16m の幅があった. また, 抜きの範囲は, −0.37～0.51m であった.

表 3 分析試技における各分析項目の値

試技名	最大重心高(m)	グリップ高(m)	抜き(m)	ポール最大湾曲率(%)	重心速度(m/s) 接地時 水平	接地時 鉛直	離地時 水平	離地時 鉛直	ポール最大湾曲時 水平	ポール最大湾曲時 鉛直	ポール離手時 水平	ポール離手時 鉛直	踏切時水平速度減速率(%)	跳躍角(deg)
①3.20	3.03	3.60	-0.37	16.7	6.03	-0.24	5.02	2.36	1.93	1.66	1.18	-2.48	16.8	25.2
②3.60	3.51	3.80	-0.09	22.1	7.02	-0.21	5.33	2.61	1.96	1.64	1.61	0.74	24.0	26.1
③3.30	3.27	3.65	-0.18	18.4	6.62	-0.03	5.30	2.60	1.90	1.99	1.31	-1.17	19.9	26.1
③3.50	3.53	3.80	-0.07	26.9	6.95	-0.41	5.31	2.20	2.21	1.67	1.70	-0.76	23.7	22.5
④3.70	4.16	3.85	0.51	25.7	7.87	-0.25	6.31	2.60	2.56	1.62	1.28	-0.69	19.9	22.4
④3.80	4.10	3.85	0.45	26.0	7.87	-0.05	6.23	2.52	2.36	1.89	1.46	-1.37	20.8	22.0
平均	3.60	3.76	-0.04	22.6	7.06	-0.20	5.58	2.48	2.15	1.74	1.42	-0.96	20.9	24.1
標準偏差	0.45	0.11	0.35	4.3	0.72	0.14	0.54	0.17	0.27	0.15	0.20	1.05	2.7	1.9

ポール最大湾曲率は, 女子競技者が動作イメージを変更した動作分析用の撮影③の前後で 20%付近と 26%前付近で異なっていた.

跳躍角度も女子競技者が動作イメージを変更した動作分析用の撮影③の前後で 26deg 付近と 22deg 前付近で異なっていた.

4. 女子競技者における分析項目間の相関関係

(1)最大重心高に関連する重心とポールの振る舞い

最大重心高と有意な相関関係が認められた項目は, 有効グリップ高($r=0.901$, $p<0.05$), 抜き($r=0.981$, $p<0.05$), 最大鉛直速度($r=0.911$, $p<0.05$), ポール最大湾曲率($r=0.821$, $p<0.05$), 慣性半

径(r＝0.932, p＜0.05), 跳躍角(r=-0.769, p＜0.1), 踏切離地時の水平重心速度(r=0.970, p＜0.05)であった. 図 13 は, 最大重心高とポール最大湾曲率の関係を示したものである. 両者の間には, 有意な正の相関(r=0.821, p＜0.05)が認められた.

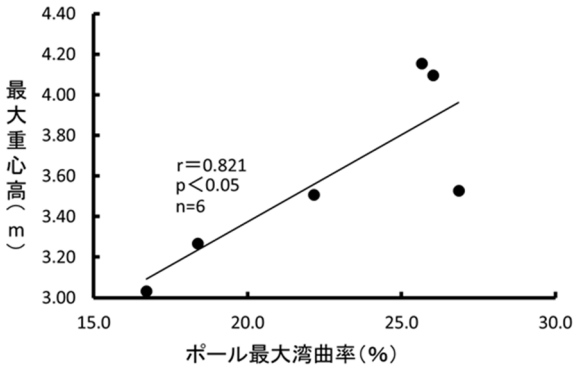

図 13 最大重心高とポール最大湾曲率の関係

図 14 は,最大重心高と踏切離地時における身体重心の水平速度との関係を示したものである. 女子競者は, 有意な正の相関(r=0.970, p＜0.01)が認められた.

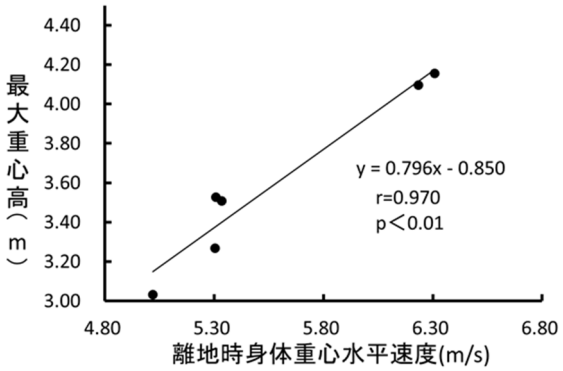

図 14 最大重心高と踏切離地時における身体重心水平速度との関係

図 15 は, 最大重心高に寄与する分析項目を理論的に構造化したとき(図 6)の分析項目間の相関関係でまとめたものである.

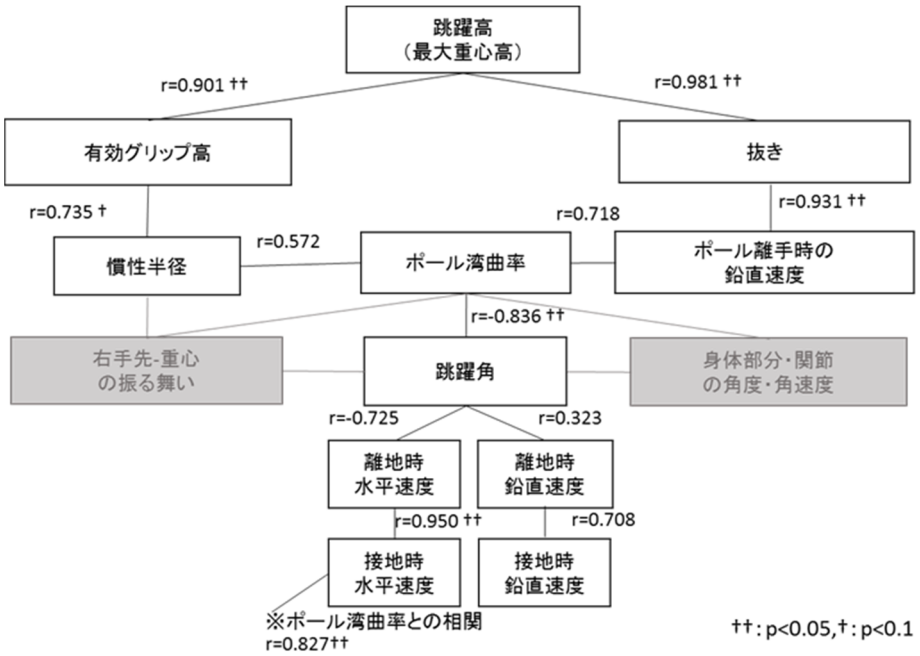

図 15 最大重心高に寄与する分析項目間の相関関係

ポール最大湾曲率と有意な相関関係が認められた項目は，跳躍角(r=−0.836，p＜0.05)，踏切接地時の重心水平速度(r=0.827，p＜0.05)であった．しかし，ポール離手時の鉛直速度とポール最大湾曲率との間に高い相関関係(r=0.718)はあるものの有意ではなかった。

跳躍角と高い相関関係が認められる項目は，踏切離地時の水平重心速度(r=−0.725)であったが，有意ではなかった。

図 16 は，図 15 に右手ー重心の振る舞いと身体部分・関節の角度・角速度に関する分析項目を加えた相関関係を示したものである．

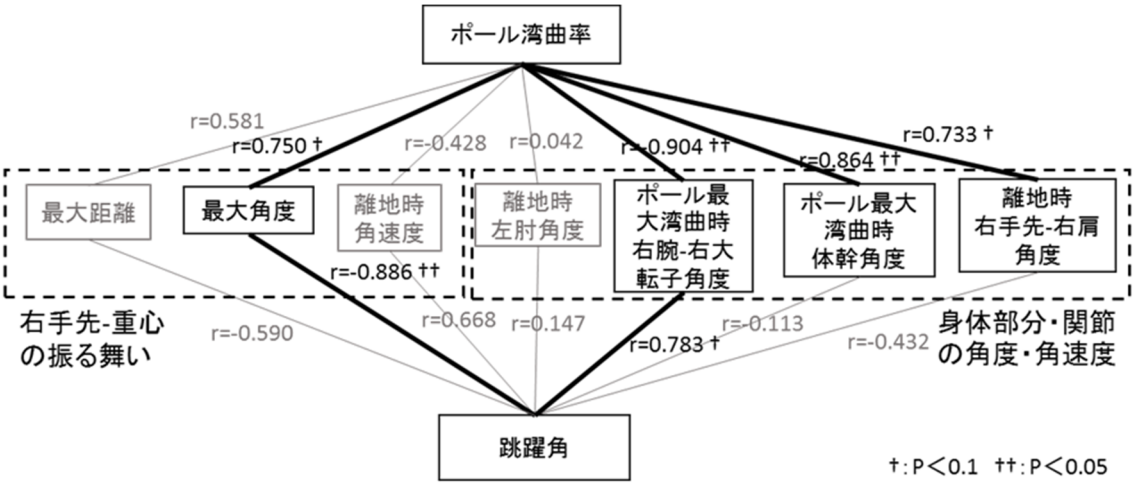

図 16 右手ー重心の振る舞いと身体部分・関節の角度・角速度に関する分析項目を加えた相関関係

図 16 は，ポール最大湾曲率に寄与する分析項目を理論的に構造化したときの分析項目間の相関

関係をまとめたものである.

ポール最大湾曲率と有意な相関関係が認められた項目は, 右手-重心角度(θ1)の最大角度(r=0.750, p＜0.1), ポール最大湾曲時の右腕-右大転子(θ9)角度(r=-0.904, p＜0.05) , ポール最大湾曲時の体幹(θ7)角度(r=0.864, p＜0.05) , 踏切離地時の右手先-右肩(θ4)角度(r=0.733, p＜0.1) であった.

跳躍角と高い相関関係が認められた項目は, 右手-重心角度(θ1)の最大角度(r=-0.886, p＜0.05), ポール最大湾曲時の右腕-右大転子(θ9)角度(r=0.783, p＜0.1)であった.

図 17 は, 右手-重心角度(θ1)とポール湾曲率の経時的な変化を踏切離地以降(原点)から示したものである. ポール最大湾曲率の違いによって, 右手-重心角度(θ1)の挙動が違うことが分かる. 右手-重心角度(θ1)をポール湾曲率 17%当たりから急激に増加しながら, より大きなポール湾曲へと導かれていた.

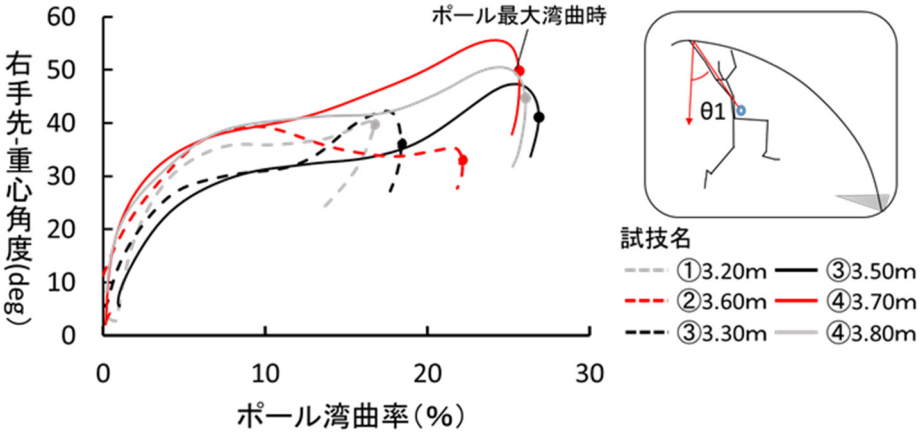

図 17 右手を中心とした身体重心の振る舞い

Ⅳ. 考察

本研究は, 女子棒高跳における適切なポール湾曲を導く踏切・フォロースルー動作に関する客観的な知見を得るために, 一人の女子棒高跳競技者における異なるポール湾曲率の試技と踏切・フォロースルー動作との関係について事例的に検討を行った.

その結果, 女子競技者はポール最大湾曲率を 16%から 26%へと変化させることで, より高い最大重心高を獲得していた(図 13). つまり, このことは, 20%以下の小さい最大湾曲率を有する女子競技者がより高い跳躍高を跳ぶには, ポールをより大きく(25～30%)湾曲させる必要があることを示している.

そして, ポール最大湾曲率には, 女子競技者においても男子一流競技者の先行研究(武田ほか, 2007;村木, 2005)と同様に跳躍角と, 右手を中心とした身体重心の振る舞い(θ1)や右肩を中心とした胴体の振る舞い(θ9)が関係していた(図 16).

大きなポール最大湾曲率を導くには, まずは踏切離地時にできるだけ低い跳び出しが重要になると考えられる(吉原ほか, 2006). 女子競技者のこのような変化は, 女子競技者が大きなポール最大湾曲率を獲得する際に, 図 10 のように飛び出す方向を跳躍動作のイメージとして変更したことによって生じ

ていた. また, 図 14 の結果から女子競技者の取組期間で歩数を 4 歩増やした補助走を導入したことから助走の変更も相まって踏切離地時の身体水平速度も向上していた. 動画 5 は, 女子競技者が導入した補助走の様子を示す. それに伴って, ポール最大湾曲率の向上と同時に表 2 に示す分析試技①320 の使用ポール(13.6F, 135lbs)から分析試技④380 の使用ポール(14.0F, 130lbs)へとより硬くて長い使用ポールの変更が見られた。また, グリップ高においても分析試技①320 の 3.60mから分析試技④370, ④380 の 3.85mへと向上していた。踏切離地時の身体水平速度の向上により, 実際の棒高跳試技でも低い跳躍角の実施が行われ, 効果的にポールを湾曲することができたと考えられた. 更に, この飛び出す方向の変更には, 踏切・フォロースルー動作時の左腕における動作意識の変更が重要であった. 図 10 の女子競技者における動作改善の取組過程にあるように, 女子競技者は大学 2 年の頃まで左腕を上方向に伸ばそうとしていた. しかし, 次第に左腕を曲げてもよいとする意識へと変更していた. これによって, 左腕の伸展により抑制されていた右手先でポールに加える力(曲げる力)を強く感じるようになり, 右手先からポールを押し込むように胴体を前に進めるようになった. なお, 女子競技者の場合, 跳躍角は 26deg 付近から 22deg 付近へと低くなっていたが, 男子一流競技者の先行研究(武田ほか, 2007;村木, 2005)や女子一流競技者(吉原ほか, 2006)を参考にすると, 女子競技者の跳躍角はまだ高いことから. 今後記録が向上する過程でより低い跳躍角へとなっていく可能性が考えられる. そのためには図 15 にもあるように, 跳躍角に大きく影響する踏切離地時及び接地時の水平速度, 助走速度も高めていく必要があると考えられる.

一方, 大きなポール最大湾曲率を導くには, 踏切離地後の踏切・フォロースルー動作で, 右手を中心とした身体重心の振る舞い(θ1)や右肩を中心とした胴体の振る舞い(θ9)も重要と考えられる. 図 17 に示されるように, 女子競技者の分析試技③350, ④370, ④380 において右手-重心角度(θ1)をポール湾曲率 17%当たりから急激に増加しながら, より大きなポール湾曲へと導いていた. このような変化は, 図 9 の女子競技者における動作改善の取組過程にあるように, 女子競技者のスイング動作の意識変更によって生じていた. 前述の分析試技前(大学 4 年の 3～5 月頃)までは「左手首がやや上に移動(顔が近づいてくる)したらボックスの方に押し返す」としていた. しかし, 前述の分析試技時(大学 4 年の 6～9 月頃)には「頭を下げて脇を締めながら肩を落とす」動作意識へと変更していた. これによって, 右肩を中心とした胴体をより大きく上方向へ回転させ(θ10), 右手を中心とした身体重心の角度を大きくすることができたと考えられた.

Ⅴ. 本研究の限界と今後の研究の展望

本研究は, 女子棒高跳における適切なポール湾曲を導く踏切・フォロースルー動作に関する客観的な知見を得るために, 一人の女子棒高跳競技者における異なるポール湾曲率の試技と踏切・フォロースルー動作との関係について事例的に検討を行い, 以下の結果が得られた.

(1) ポール湾曲率が 16%と小さかった女子競技者は, 最大湾曲率の目標を 30%としながら, 26%まで変化することで, より高い跳躍高を得ることができた.

(2) 女子競技者は, 踏切時の身体重心速度の向上により, より低い跳躍角となったことが, 大きなポールの湾曲につながった.

(3) 女子競技者は. ポール湾曲率 13～17%当たりのスイング動作で右肩を中心とした胴体をより大きく

上方向へ回転させ，右手を中心とした身体重心の角度が大きくなることで，ポールの大きい湾曲を導くことができた.

そして，このような客観的な動作を導くには，女子競技者の取組事例（図 9）を参考にすると，以下のような動作意識が手がかりになろう.

(2)の跳躍角は,「左腕が曲がっても右手先からポールを押し込むように胴体を前に進める」
(3)の胴体や右手を中心とした身体重心の角度については,「頭を下げて脇を締めながら肩を落とす」

しかし，今回は単一事例であるため，競技者によっては本研究の対象者と異なる跳躍スタイルや踏切・フォロースルー動作をするかもしれない．また，対象者は競技経験年数 6 年の女子競技者であり，ポール湾曲率を高めるための踏切・フォロースルー動作が，ポールを曲げない状態の初心者には当てはまらない可能性もある.また，助走速度を向上させるために補助走を取り入れるなどの取組も行っていたことから，大きなポール湾曲をするためには踏切・フォロースルー動作以外の要因も考えられる．今回の知見は，その点を踏まえて活用を行う必要がある.

今後はパフォーマンスレベルも考慮しながら，対象者数を増やして，異なるポール湾曲率とパフォーマンスとの関係を明らかにされることが期待される.

【付記】

本研究は，共同研究者４名で研究構想を練り，本論全体を責任著者の指導のもと筆頭著者がとりまとめた．著者は跳躍試技の撮影および分析，結果の論議（考察）に参加し，論文全体の推敲にも加わった．また，著者の小森は筆頭著者の競技発達の中で技術的指導を行った．責任著者は，筆頭著者の研究指導を行うとともに，論文投稿に際して論文全体に推敲を加え，さらに査読過程における論文修正に際しても総括及び編集委員会との窓口として対応した.

本論文は，筆者の平成 28 年度の卒業研究の一部をまとめたものである.

Ⅶ. 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. Jpn J Sports Sci. 15(3):155-162
・淵本隆文（1992） スポーツ用具に注入されるエネルギーを測る―棒高跳ポールの場合―. Jpn J Sports Sci. 11(3):188-193
・木越清信，加藤隆之，尾縣貢（2003）棒高跳未経験女性競技者における競技力発達過程に関する研究―自由踏切獲得を目標とした場合―. 陸上競技学会誌. 1(1):39-45
・木越清信，小林史明，下嶽進一朗（2007）棒高跳におけるグリップ高に影響を及ぼす技術的要因―日本人競技者はグリップ高を高めるために何をすべきか？―. 陸上競技学会誌，特集号:89-94
・木越清信，丹羽みなみ，澤野大地，下嶽進一朗，小林史明(2013) 棒高跳における力学的エネルギーから見た適切なポールセッティングの検討.陸上競技学会誌，11(1):19-27
・金高宏文（2010）競技力を支える「動きのコツ」を探る. 陸上競技学会誌，8:90-98.
・村木征人(1982)棒高跳の運動・技術特性. 現代スポーツ実践講座２ 陸上競技(フィールド). pp.380-

44
・本山清喬, 小森大輔, 金高宏文, 西園秀嗣(2016)フライングスプリットにおける前脚の膝関節と足関節の位置関係の違いが下肢の関節トルクに及ぼす影響. スポーツパフォーマンス研究, 8:302-317
・仲田愛(2011)3m90 から 4m23 へと記録を向上させた大学女子棒高跳選手のトレーニング過程の分析. 平成 22 年度鹿屋体育大学卒業論文.
・高丸功, 有吉正博, 繁田進(1998)女子棒高跳の跳躍技術に関する分析的研究. 陸上競技研究. 33(2):12-17
・高松潤二, 阿江通良, 藤井範久(1998)棒高跳に関するバイオメカニクス的研究:ポール弦反力から見た最大重心高増大のための技術的要因. 体育学研究. 42:446-460
・武田理, 村木有也, 小山宏之, 阿江通良(2005)身体重心速度およびポール湾曲度からみた男子棒高跳選手のバイオメカニクス的分析. 陸上競技研究紀要. 1:30-35
・武田理, 小山宏之, 吉原礼, 阿江通良(2007)エネルギー変換率からみた男子棒高跳選手の跳躍技術に関するバイオメカニクス的分析. 陸上競技研究紀要. 3:16-24
・吉原礼, 武田理, 小山宏之, 阿江通良(2006)女子棒高跳選手のバイオメカニクス的分析. 陸上競技研究紀要. 2:147-150