

## 高校トップレベルの男子棒高跳選手における跳躍動作の特徴 - 高校記録保持者の跳躍を対象として -

柴田篤志<sup>1)</sup> 小山宏之<sup>1)</sup> 清水悠<sup>2)</sup> 村木有也<sup>3)</sup> 久保理英<sup>4)</sup>

1) 京都教育大学 2) 島根大学 3) 大阪電気通信大学 4) 京都教育大学大学院教育学研究科

Characteristics of vaulting motion in elite male high school vaulters  
- focusing on the national high school record holder -

Atsushi SHIBATA<sup>1)</sup> Hiroyuki KOYAMA<sup>1)</sup> Yutaka SHIMIZU<sup>2)</sup> Yuya MURAKI<sup>3)</sup>  
Riei KUBO<sup>4)</sup>

1) Kyoto University of Education

2) Shimane University

3) Osaka Electro-Communication University

4) Graduate School of Education, Kyoto University of Education

### Abstracts

The purpose of this study was to clarify characteristics of vaulting motions in elite male high school vaulter who has national high school record (5.46m). The vaulting motions of 3 elite male high school vaulters (including the national high school record holder) were videotaped with a high-speed video camera (120fps) and analyzed by using DLT techniques. The results were summarized as follows;

1) The horizontal C.G. velocity at the pole plant for the national high school record holder was significantly greater than those of other elite male high school vaulters, and the decrease in horizontal C.G. velocity during takeoff phase for the national high school record holder was larger.

2) The vertical C.G. velocity and the takeoff angle at the takeoff for the national high school record holder was significantly smaller than those of other elite male high school vaulters.

3) The upper hand grip height and the percentage of pole bending for the national high school record holder was larger than those of other male elite high school vaulters.

4) The upper hand grip of the national high school record holder located behind at the pole plant, and the backward lean of the trunk during the takeoff phase was larger.

These results suggested that the national high school record holder bent the pole largely to obtain maximum C.G. height. In addition, the large horizontal C.G. velocity at the pole plant and the small takeoff angle affected for the performance.

### 1. はじめに

2016年度、江島雅紀選手(荏田高校・3年)が5月に開催されたセイコーゴールデングラプリにおいて5.42mと高校記録を9年ぶりに更新し、その後も高校総体において5.43m、国民体育大会においても5.46mと計3度も高校記録を更新した。さらに、同選手はU20世界選手権においても5.35mで6位に入賞を果たし、U20世代において世界のトップで競

うことができるレベルであり、2020年の東京五輪に向けてダイヤモンドアスリートに認定されるなど更なる活躍が期待されている。また、リオデジャネイロオリンピックにおいても男子棒高跳は跳躍種目における唯一の入賞種目であり、現在国際大会での活躍が最も期待される跳躍種目の一つである。そして、今後の日本における棒高跳の競技レベルのさらなる向上や国際大会における上位入賞のために、U20世代のトップ選手の特徴や基礎的なデータを継

表1 分析試技一覧

競技会名	日時	記録(m)
江島選手 中国総体	2016.07.30	5.43
江島選手 岩手国体	2016.10.07	5.46
江島選手 日本ジュニア	2016.10.22	5.41
A選手 近畿総体	2015.07.30	5.20
B選手 中国総体	2016.07.30	5.15

続的に収集していくことは重要であると考えられる。

そこで本稿では、江島選手の2016年度の跳躍動作および高校トップレベルの競技者2名の跳躍動作を比較し、高校記録を更新した江島選手の跳躍動作の特徴について検討することを目的とした。

## 2. 方法

### 2.1 分析対象者と分析試技

分析対象者は2016年度に高校記録を更新した江島雅紀選手 (PB:5.46m)、および高校トップ選手2名 (A選手, PB:5.21m・B選手, PB:5.15m) の計3名とし、分析試技は2016年高校総体、2016年国民体育大会、2016年日本ジュニア選手権および2015年高校総体の各競技会における各競技者の成功試技とした (表1)。

### 2.2 データ収集

各競技会におけるすべての跳躍をピット側方正面スタンドに設置したハイスピードカメラ (LUMIX FZ-300, Panasonic 社製) を用いて、120fps で固定撮影した。撮影範囲はボックスから助走路側に8m、

マット側に2mの範囲とし、2次元DLT法を用いて2次元座標を算出するためにボックス先端 (0m) から助走路側に2m, 4m, 6m, 8mの各地点にキャリブレーションポールを立てて撮影した。なお、これらの撮影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る。

### 2.3 データ処理

撮影したVTR画像から、踏切1歩前接地の10コマ前から身体がバーを超えるまでの身体分析点23点およびポール下端をビデオ動作解析システム (FrameDIAS IV, DKH 社製) により、毎秒120コマでデジタル化した。そして、デジタル化した分析点の座標とコントロールポイントの座標から、2次元DLT法を用いて身体分析点23点およびポール下端の実座標を算出した。身体分析点およびポール下端の2次元座標は、Wells and 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3.6Hz から6.0Hz で平滑化した。

先行研究を参考に (Frère et.al, 2010 ; 有川ほか, 2016), 棒高跳の一連の跳躍動作について以下のように局面を定義した (図1)。

- 1) ポールプラント (PP) : ポールをボックスに突っ込んだ時点
- 2) 踏切離地 (TO)
- 3) ポール最大湾曲 (MPB) : ポール湾曲率が最大になった時点
- 4) ポールストレート (PS) : ポール湾曲率が0%に

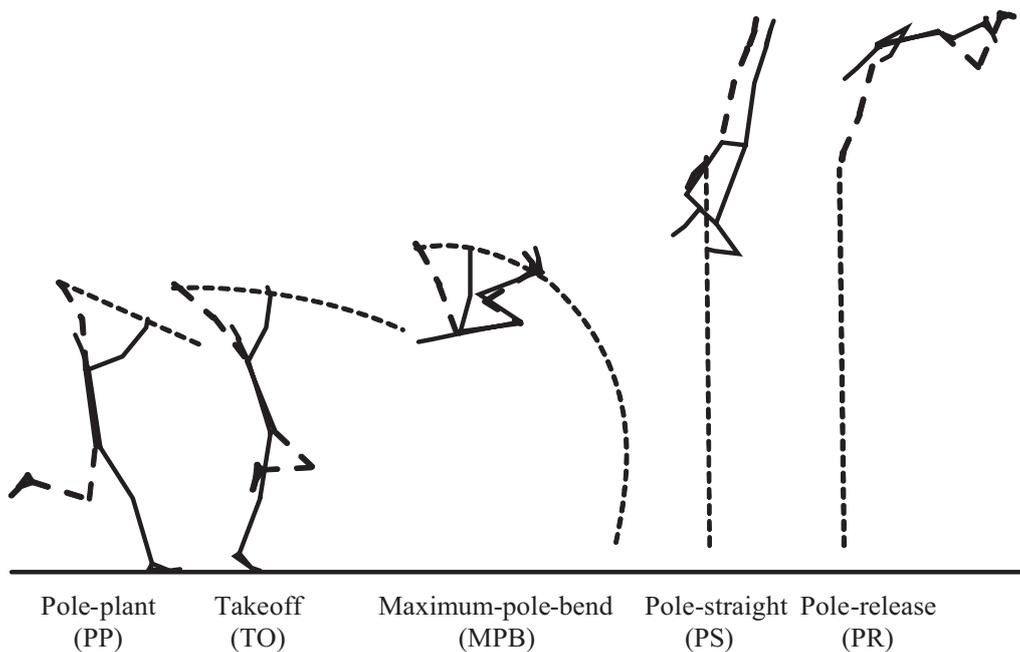


図1 局面定義

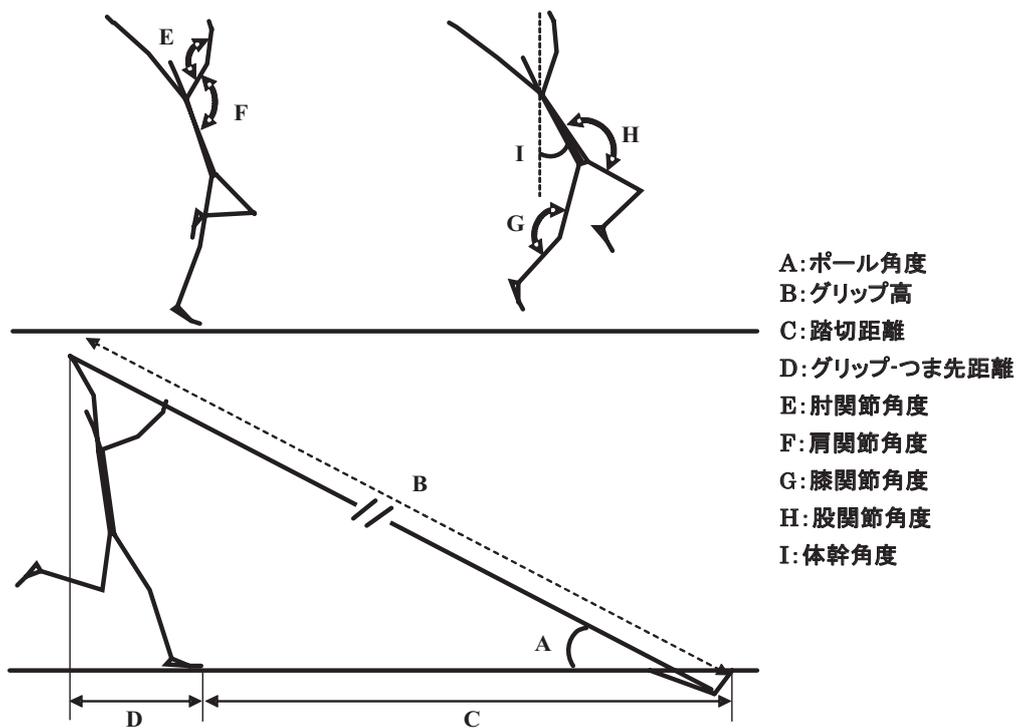


図2 動作パラメータと角度定義

最も近くなった時点

- 5) ポールリリース (PR) : 上側のグリップがポールから離れた時点

また、各競技者のデータは、PP を 0%, PR を 100% として時間で規格化した。

## 2.4 分析項目

以下に示す項目を算出した。図2は角度定義を示している。

- 1) 身体重心高および身体重心速度。
- 2) 跳躍角：T0における身体重心速度ベクトルと水平面のなす角度。
- 3) PP ポール角度：PPにおけるポールの下端と上側のグリップを結ぶベクトルと水平面のなす角度。
- 4) 踏切距離：PPにおける踏切脚のつま先からボックスまでの水平距離。
- 5) グリップ-つま先距離：PPにおけるグリップから踏切脚のつま先までの水平距離。
- 6) グリップ高：PPにおける上側のグリップとポール下端までの距離。
- 7) 抜きの高さ：バーの高さ+ボックスの深さ(0.2m)からグリップ高を引いた距離。
- 8) 肘関節角度：上腕と前腕とのなす角度。
- 9) 肩関節角度：上腕と肩から大転子を結ぶベクトルとのなす角度。
- 10) 体幹角度：左右大転子の midpoint から胸骨上縁を結ぶベクトルと鉛直線のなす角度。

- 11) ポール湾曲率と最大ポール湾曲率：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、PPにおける弦長に対する各時点の弦長の割合をポール湾曲率とした(武田ほか, 2007)。また、最も湾曲率が大きい時点をポール最大湾曲(MPB)とした。

## 3. 結果および考察

### 3.1 パフォーマンスに関する基礎的パラメータ

表2は記録および各動作の基礎的なパラメータを示している。

各時点における身体重心高にはPPおよびT0において大きな差はみられないが、身体重心高の最大値は江島選手の3跳躍が特に大きかった。また、各時点における身体重心の水平速度はPPで江島選手が1m/s程度大きく、助走で大きな水平速度を獲得した状態でポールを突っ込んでいたが、T0では他の2選手と大きな差はみられず、江島選手はPPからT0にかけて水平速度の減少が大きかったといえる。身体重心の鉛直速度はT0において江島選手が小さく、5.41mおよび5.46mの跳躍では特に小さかったが、跳躍中の最大値は江島選手が他の2選手と比較して大きかった。T0における跳躍角度は江島選手が他の2選手と比較して小さく、5m41および5m46の跳躍では特に小さかった。その他のパラメータは、江島選手は踏切位置がボックスに近く、PPにおいて

表2 跳躍記録と基礎的パラメータ

		江島選手	江島選手	江島選手	A選手	B選手
記録 (m)		5.41	5.43	5.46	5.20	5.15
身長 (m)		1.89	1.89	1.89	1.74	-
体重 (kg)		74.5	74.5	74.5	66.0	-
身体重心高 (m)	PP	1.12	1.08	1.08	1.08	1.05
	TO	1.22	1.25	1.20	1.23	1.21
	MAX	5.63	5.63	5.69	5.34	5.23
水平速度 (m/s)	PP	8.75	8.87	8.81	7.97	7.71
	TO	7.46	7.46	7.36	7.55	7.21
鉛直速度 (m/s)	PP	0.49	0.09	0.47	1.56	1.44
	TO	1.99	2.43	1.98	2.75	2.76
	MAX	5.02	5.16	5.12	4.79	4.62
ボール角度 (deg)	PP	28.4	29.0	28.1	28.2	28.7
踏切距離 (m)	PP	3.56	3.52	3.51	3.95	3.93
グリップつま先距離 (m)	PP	0.78	0.78	0.86	0.24	0.26
跳躍角 (deg)	TO	14.9	18.0	15.0	20.0	20.9
グリップ高 (m)		4.73	4.79	4.84	4.57	4.66
抜きの高さ (m)		0.88	0.84	0.82	0.83	0.69
ボール湾曲率 (%)	MAX	30.4	29.0	32.0	23.4	25.9

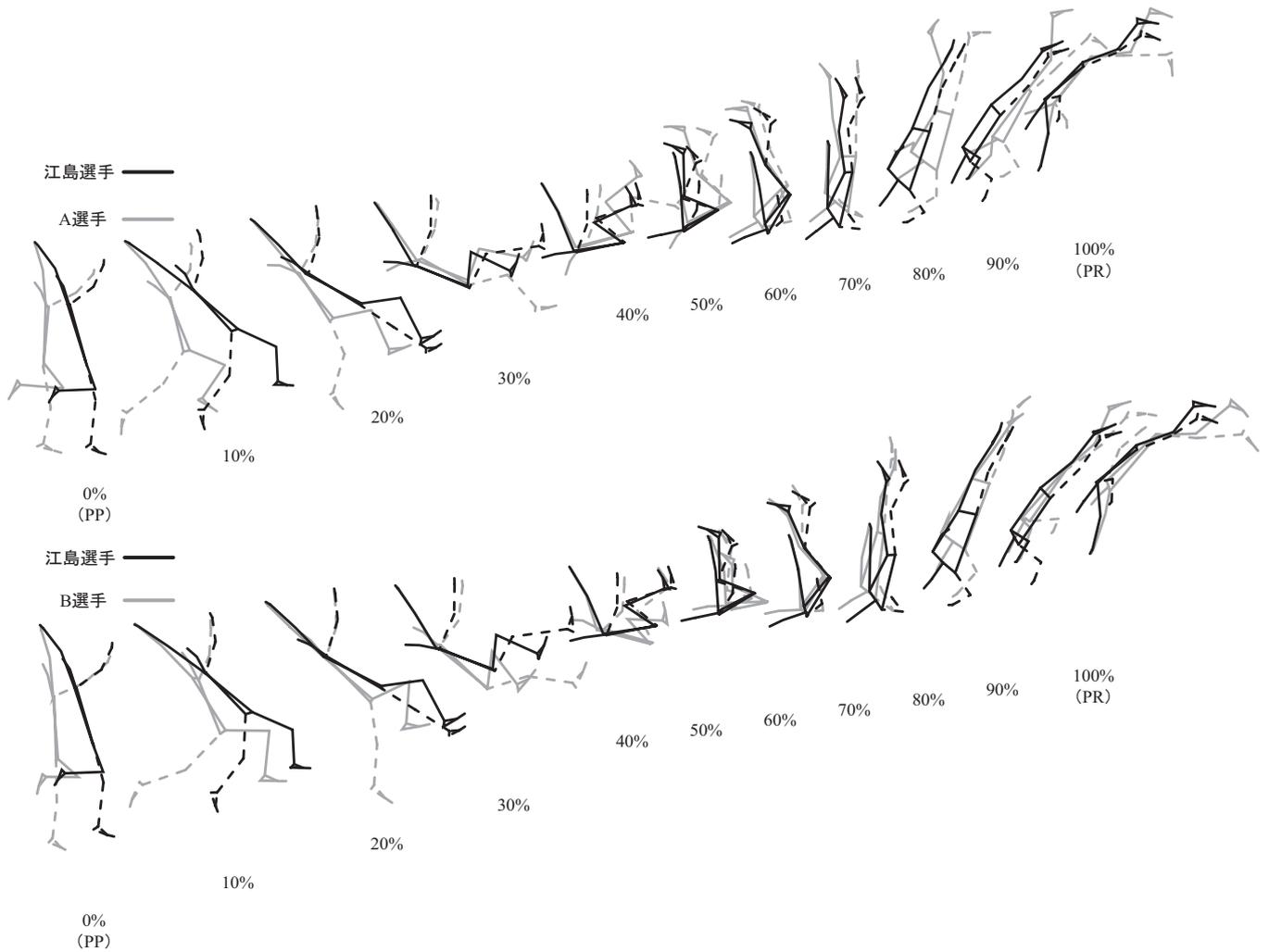


図3 江島選手の平均動作とA選手（上図）およびB選手（下図）の跳躍動作の比較

グリップがより後方に位置していた。また、PPにおけるボール角度には大きな差はみられず、グリップ高は江島選手が大きく、ボールの最大湾曲率も江

島選手の3跳躍が他の2選手と比較して大きかった。棒高跳において、競技記録と助走速度には正の相関があることが報告されており（淵本ほか、1994；

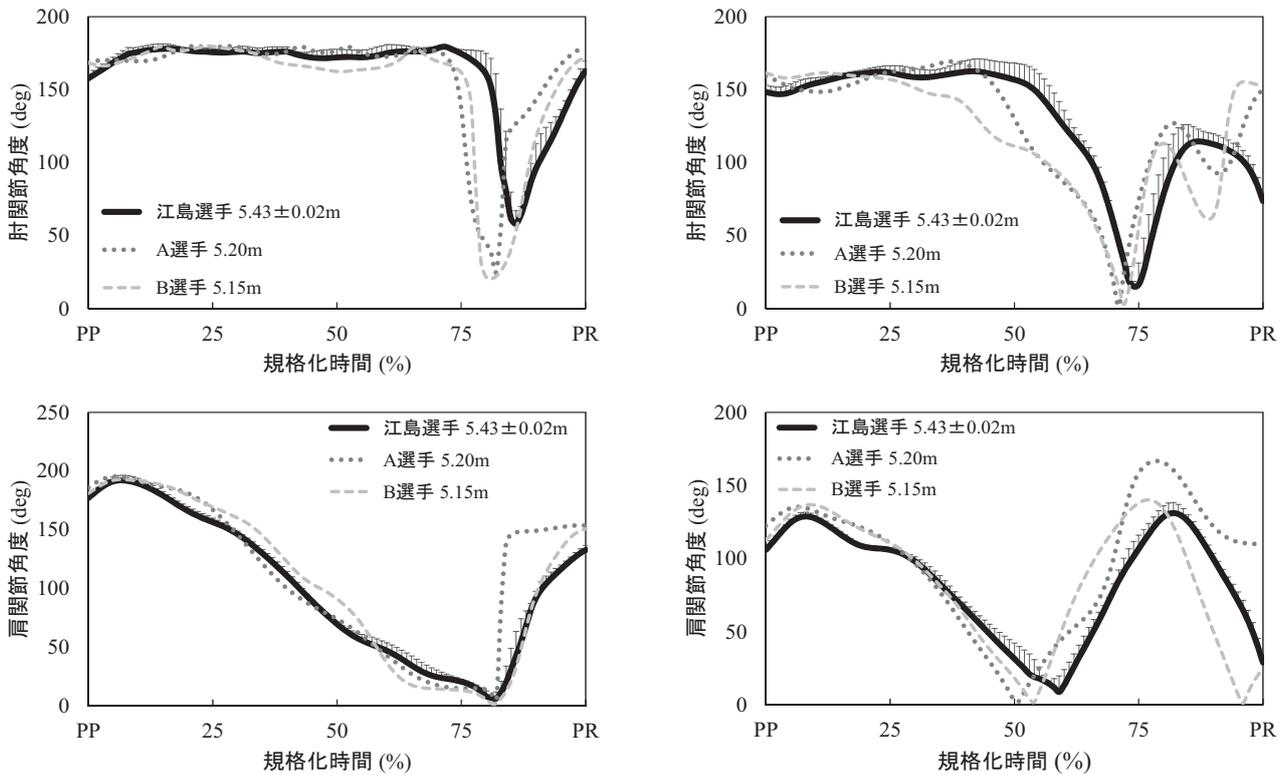


図4 左右の肘関節角度（上図）および肩関節角度（下図）の変化

小山ほか, 2007), 江島選手の水平速度がPPにおいて大きかったことは先行研究の結果を裏付けるものであり, 助走で大きな速度を獲得できていたことが跳躍記録につながっていたといえる. また, T0における跳躍角について武田ほか(2005)は跳躍記録と跳躍角の間に負の相関関係があると報告しており, Linthorne(2000)はポールの湾曲を大きくし, さらに水平速度の減少を抑えることができる最適跳躍角は18 degであると報告している. つまり, 江島選手のT0における跳躍角が小さかったことは跳躍記録に影響する要因であったと考えられるが, 最適な跳躍角度と比較すると小さく, より水平方向へ踏み切ることによって大きなポールの湾曲が可能になる一方で水平速度の減少が大きくなった可能性が示唆される.

### 3.2 跳躍動作の特徴

跳躍の各局面における基礎的なパラメータから, 江島選手が大きな助走速度で踏切に入り, より水平に近い角度で踏み切ることによって大きくポール湾曲をさせて跳躍高を獲得していたことが明らかとなった. ここでは, ポールの突っ込み (PP) 以降の跳躍動作に着目し, 他の2選手と比較することで江島選手の特徴について検討することとした. また, 各選手の規格化した時間における各局面の3選手の平均値は, PPが0%, T0が6%, MPBが40%, PSが77%, PRが

100%であった.

図3はPPからPRまでの江島選手の3跳躍の平均動作とA選手およびB選手の跳躍動作を比較したものである.

図4はPPからPRにかけての左右の肘関節角度の変化および左右の肩関節角度の変化を示しており, 図5は左右の膝関節角度の変化および左右の股関節角度の変化を示している. また, 図6はPPからPRまでの体幹角度の変化を示している. なお, 江島選手の跳躍については3試技の平均値のみを示している.

上肢の動作をみると, 右肘は3選手ともPPから跳躍のおよそ75%時点まで伸展位を維持しており, 大きな差はみられなかったが, その後の屈曲が開始するタイミングが江島選手は他の2選手と比較すると遅く, 左肘も同様に3選手ともPPから約50%時点の跳躍中盤にかけて伸展位を維持しているが, その後の屈曲が開始するタイミングは江島選手が遅かった. 左右の肩関節角度の変化には大きな差はみられなかった.

下肢の動作をみると右膝はPPから跳躍の前半局面において江島選手が大きく伸展していたが, 約50%時点以降の変化に大きな差はなく, 左膝はPPから跳躍の中盤にかけて大きな差はみられなかったが, 踏切の中盤以降の約50%時点から70%時点において江島選手は伸展のタイミングが遅かった. 右股

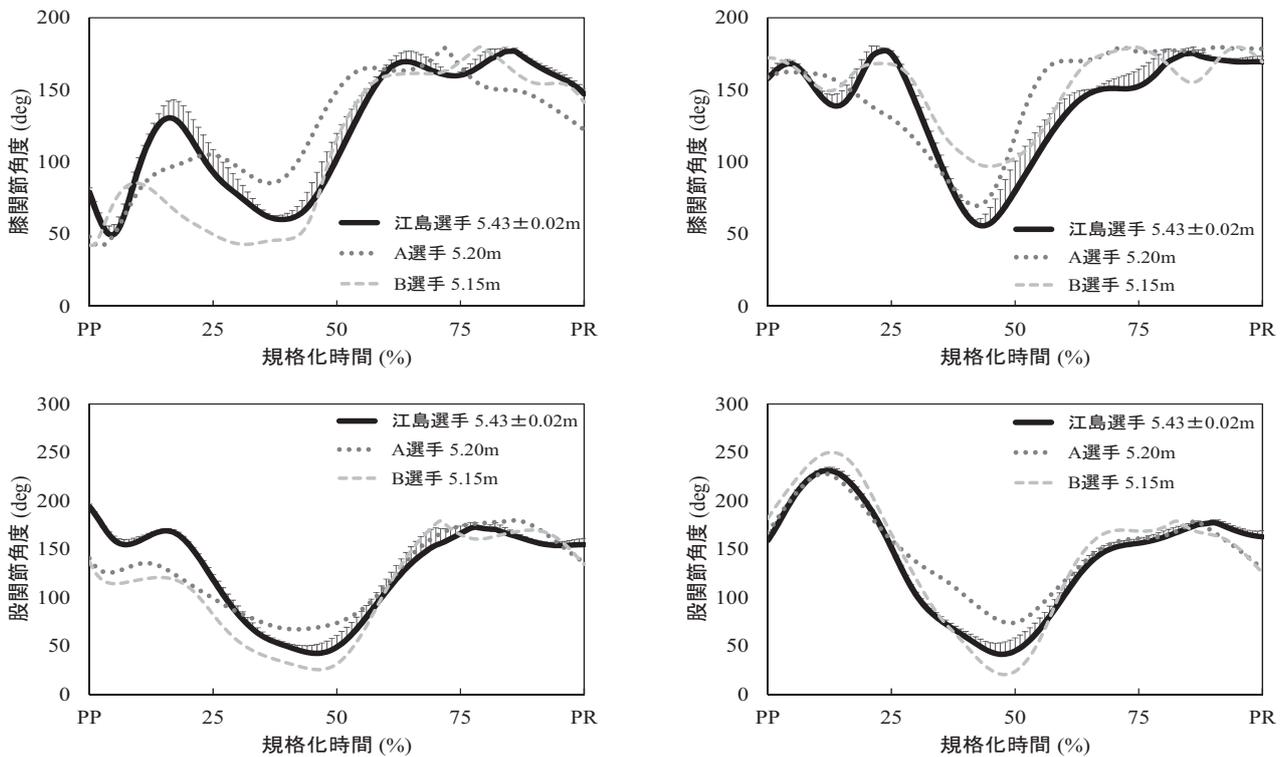


図5 左右の膝関節角度（上図）および股関節角度（下図）の変化

関節はPPから約25%時点にかけての跳躍の前半で江島選手がやや伸展位であり、左股関節は約50%時点において3選手の動作に違いがみられた。

体幹の動作ではPPから約25%時点にかけての江島選手は他の2選手と比較すると体幹が後傾した姿勢であり、その後も約50%時点の跳躍中盤にかけて、B選手と比較すると体幹が後傾していた。

棒高跳の跳躍動作はポールの突っ込み（PP）後、踏切（TO）、身体のスイング、最大ポール湾曲（MPB）前後でのロックバック、引き上げ、ターン、ポールリリース（PR）後のクリアランスと呼ばれる一連の動作によって構成されている（有川ほか，2016）。

まず、PPにおける3選手の姿勢を比較すると江島選手は体幹が後傾していることによって、踏切足に対して右手が後方に位置していた（図3：0%）。指導現場においてポールを突っ込む際には踏切での減速を抑えるために右手に対して踏切足が真下に位置することが理想的だとされており（田中，2013）、江島選手はグリップ高に対して踏切位置がボックスに近い可能性が示唆され、その結果として踏切脚のつま先に対してグリップが後方にある状態で踏切動作を開始していたと考えられる。

次に、TOからMPBにかけては助走で獲得した運動エネルギーを利用してポールを大きく曲げることが重要な課題となる（武田ほか，2006）。この局面における各選手の上肢の動作は類似していたが、下

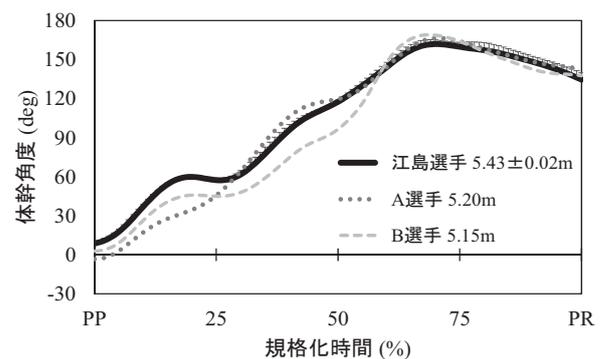


図6 体幹角度の変化

肢の動きに着目すると江島選手はTO直後からリードレッグの膝関節を大きく伸展させており、その後の屈曲も大きかった。また、右股関節は2選手と比較すると伸展位を保っており、TOからMPBにかけて江島選手はリードレッグをあまり大きく引き上げていなかったと考えられる。一方で、体幹を後傾させるタイミングが早かったことでTO後の姿勢が2選手と大きく異なっていた（図3：10%-20%）。武田ほか（2007）は、TO直後はポールに大きな力を作用させるために、TO後の姿勢を一時的に維持しスイングのタイミングを遅らせることが有効であると報告している。そのため、江島選手が他の2選手と比較して早いタイミングで体幹を後傾させ始めていたことは、ポールに作用する力が小さくなる動作である可能性が示唆される。しかしながら、江島選手

は最もポールの湾曲も大きく、助走で獲得した速度と踏切を活かすことで十分な力をポールに加えることができていたと考えられる。

MPB以降からクリアランスにかけての動作については3選手にあまり大きな差はみられず、抜きの高さにも大きな差がみられなかったことから、本報告の対象者の跳躍記録に対する影響は少なかったと考えられる。しかしながら、MPB以降の動作に関してはターン動作を伴うため、2次元的な動作分析による評価には限界があり、今後は3次元的な分析によりその詳細を明らかにしていくことが必要になると考えられる。

以上のように、PP以降の跳躍動作についてはPPからMPBにかけて江島選手に他の2選手と比較して異なる特徴がみられ、それらは踏切における大きな減速やポールに加える力が小さくなることにつながる可能性が示唆されるものであった。しかし、跳躍記録は江島選手が0.2m以上大きかったことから、高校生のトップ選手においては、グリップ高を高くし助走で大きなスピードを獲得して低く踏切することにも重点を置く必要があると考えられるであろう。一方で、棒高跳の跳躍動作に関する基礎的なデータは不足しており、競技レベルの向上が著しい高校生トップ選手を含むU20世代に関するものは特に乏しいことから、今後も継続的にデータ収集を行い、競技レベルの向上と跳躍動作の関係性について検討していくことが、更なる競技レベルの向上や指導現場におけるコーチングへと還元するために必要になると考えられる。

## 5. まとめ

本報告では、江島選手の跳躍動作の特徴について、高校トップ選手と比較することでその特徴を検討した。江島選手は比較対象の2選手と比較すると、助走で大きな速度を獲得し、さらに低い踏切をすることによってポールを大きく湾曲させていたことが跳躍記録に影響していたことが明らかになった。跳躍動作については、ポールの突っ込み時の姿勢に他の2選手と異なる特徴が見られ、踏切位置が近いことによって踏切足に対して右手のグリップが後方に位置し、踏切での減速につながっていた可能性が示唆された。

## 参考文献

有川星女, 遠藤俊典, 塚田卓巳, 豊島陵司, 小山宏

- 之, 田内健二 (2016) 棒高跳の跳躍動作における女子世界トップレベル選手の特徴: 同記録の男子選手と比較して. 体育学研究, 61, 629-637.
- Frère, J., L' hermette, M., Tourny-Chollet, C. (2010) Mechanics of pole vaulting: a review. Sports Biomech., 9, 123-128.
- 淵本隆文, 高松潤二, 阿江通良 (1994) 棒高跳の動作学的力学的分析. 世界一流競技者の技術. ベースボールマガジン社, pp193-204.
- 小山宏之, 村木有也, 武田理, 大嶋雄治, 阿江通良 (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. 陸上競技研究紀要, 3, 104-122.
- Linthorne, N. P. (2000) Energy loss in the pole vault take-off and the advantage of the flexible pole. Sports Engineering, 3, 205-218.
- 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の分析. 陸上競技研究紀要, 1, 30-35.
- 武田理, 村木有也, 小山宏之, 阿江通良 (2006) 男子棒高跳における重心水平速度変化およびポール湾曲度. 陸上競技研究紀要, 2, 144-146.
- 武田理, 小山宏之, 村木有也, 吉原礼, 阿江通良 (2007) 記録水準の異なる男子棒高跳選手の跳躍動作に関するバイオメカニクスの分析. 陸上競技研究紀要, 3, 123-126.
- 田中光 (2013) 棒高跳. 陸上競技指導教本アンダー16・19 [上級編] レベルアップの陸上競技. 大修館書店, pp65-71.
- Wells, R. P., D. A. Winter (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics normal, pathological and sporting gaits. Human Location, I, 92-93.