

## 女子棒高跳選手の跳躍動作のバイオメカニクスの分析

吉原 礼<sup>1)</sup> 武田 理<sup>2)</sup> 小山 宏之<sup>2)</sup> 阿江 通良<sup>3)</sup>

1) 筑波大学体育専門学群 2) 筑波大学大学院 3) 筑波大学体育科学系

### 1. はじめに

女子棒高跳が1999年に世界選手権、2000年にオリンピックの正式種目となって以来、その記録の向上はめざましい。しかし、女子棒高跳におけるバイオメカニクスの研究はほとんどみられない。そこで、本報告では国内外の女子一流棒高跳選手および学生棒高跳選手の跳躍動作を分析、比較した結果について報告する。

### 2. 方法

#### 2.1 データ収集

2005年に行なわれた公認陸上競技会に出場した国内外の女子一流棒高跳選手および学生選手12名を分析対象者とした。分析対象者の身長、体重は $1.67 \pm 0.06\text{m}$ 、 $55.9 \pm 4.4\text{kg}$ 、であった。VTR撮影はデジタルビデオカメラ(VX-2000, SONY社)1台を用い、ボックスから助走路側に6m、マット側に2mの範囲を撮影した。撮影スピードは毎秒60フィールド、露出時間は1/1000秒であった。なお、本研究で用いたVTRテープの一部は、日本陸上競技連盟科学委員会バイオメカニクス班の活動により撮影されたものである。

#### 2.2 データ処理

撮影したVTR画像から、踏切1歩前接地5コマ前からポール伸展後5コマまでの動作を、ビデオ画像解析システム(Frame-DIAS II, DKH社)を用いて1コマごとにデジタル化し、身体計測点23点の座標を得た。得られた身体計測点23点の座標は2次元DLT法を用いて実座標に換算した。次に、得られた実座標をButterworth low-pass digital filterを用いて平滑化した。最適遮断周波数はWells and Winter (1980)の方法により計測点の座標成

分ごとに決定した。なお、その最適遮断周波数は、2.4Hz ~ 5.4Hz の範囲であった。

#### 2.3 測定項目と測定法

身体計測点の2次元座標から阿江ら(1996)の身体部分慣性係数を用いて、身体および部分の重心位置を算出し、身体重心速度は身体重心変位を時間微分して求めた。

次いで以下の項目を算出した。

①踏切局面における身体重心水平速度減速率：踏切足接地から踏切足離地までの身体重心水平速度減速率(DR)は以下の式で算出した。

$$DR = (VX_{\text{off}} - VX_{\text{on}}) / VX_{\text{on}} \times 100$$

ここで、 $VX_{\text{on}}$ は踏切足接地時の身体重心水平速度、 $VX_{\text{off}}$ は踏切足離地時の身体重心水平速度を示している。

②跳躍角：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度を跳躍角とした。

③ポール湾曲率および最大ポール湾曲率：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、ポール伸展時の弦長に対する各時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。最も湾曲率が大きい時点を最大ポール湾曲時とし、そのときの湾曲率を最大ポール湾曲率とした。

$$\text{ポール湾曲率} = 100 - \left( \text{各時点の弦長} / \text{ポール伸展時の弦長} \right) \times 100$$

④身体重心鉛直速度比：ポール湾曲局面およびポール伸展局面における身体重心鉛直速度の平均値をそれぞれ算出し、以下の式により算出した。本研究では、ポール湾曲局面を踏切足離地時から最大ポール湾曲時まで、ポール伸展局面をポール最大湾曲時からポール伸展時までとした。

$$\text{身体重心鉛直速度比} = \text{ポール伸展局面の平均身体重心鉛直速度} / \text{ポール湾曲局面の平均身体重心鉛直速度}$$

表1 パフォーマンスに関係する基礎的要因

	分析記録(m)	踏切足接地		踏切足離地		減速率(%)	跳躍角(deg)	グリップ高(m)	抜きの高さ(m)	最大ポール湾曲率(%)
		水平(m/s)	鉛直(m/s)	水平(m/s)	鉛直(m/s)					
A	4.50(失敗)	7.89	0.61	6.98	2.62	11.6	20.6	4.10	0.40	27.5
B	4.10	7.64	0.11	6.19	2.56	19.0	22.5	4.10	0.00	24.0
C	4.10	7.69	0.24	6.07	2.41	21.0	21.7	4.01	0.09	23.1
D	4.20	7.49	0.38	6.18	2.55	17.4	22.4	3.80	0.40	25.8
E	4.20	7.46	0.19	6.59	2.57	11.6	21.3	3.93	0.27	30.7
F	4.00	7.66	0.24	6.46	2.38	15.7	20.2	3.89	0.11	27.1
G	3.80	7.12	-0.01	6.13	2.45	13.8	21.8	3.86	-0.06	24.6
学生A	4.00	7.68	-0.05	6.10	2.70	20.6	23.9	3.94	0.06	22.8
学生B	3.90	7.37	0.17	6.00	2.57	18.7	23.2	3.73	0.17	22.7
学生C	3.80	7.18	0.17	5.96	2.63	17.0	23.8	3.73	0.07	23.2
学生D	3.70	7.43	0.17	5.77	2.77	22.3	25.7	3.69	0.11	24.8
学生E	3.40	6.69	0.68	5.55	2.84	17.1	27.1	3.53	-0.13	20.1
平均	4.26	7.44	0.24	6.16	2.59	17.2	22.8	3.86	0.12	24.7
標準偏差	±0.38	±0.53	±0.21	±0.38	±0.19	±3.9	±1.8	±0.19	±0.25	±3.0
一流選手平均	4.07	7.56	0.25	6.37	2.51	15.7	21.5	3.96	0.17	26.1
標準偏差	±0.21	±0.24	±0.20	±0.32	±0.09	±3.6	±0.9	±0.12	±0.19	±2.6
学生選手平均	3.76	7.27	0.23	5.87	2.70	19.2	24.7	3.72	0.06	22.7
標準偏差	±0.23	±0.37	±0.27	±0.22	±0.11	±2.3	±1.6	±0.15	±0.11	±1.7

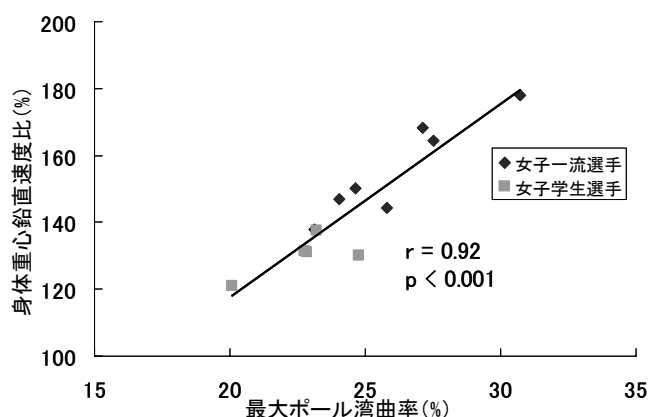


図1 最大ポール湾曲率と身体重心鉛直速度比との関係

⑤関節角度，身体部分角度および角速度：身体計測点の2次元座標から肩関節角度（上腕と体幹のなす角度），肘関節角度（上腕と前腕のなす角度）および体幹の角度（体幹と肩から下ろした鉛直線のなす角度）を算出した。体幹角度は，鉛直線に対して反時計まわりを正とした。また角変位を時間微分して角速度を求めた。

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算出し，有意水準は5%以下とした。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 パフォーマンスに関係する基礎的要因

表1は分析記録とパフォーマンスに関係する基礎的要因を示したものである。踏切足接地時の身体重心水平速度および踏切足離地時の重心水平速度は女

子一流選手が，女子学生選手と比較して大きかった。踏切足接地時の身体重心水平速度と記録の間には有意な正の相関 ( $r = 0.85, p < 0.001$ ) がみられ，また，踏切足離地時の身体重心水平速度と記録の間には有意な正の相関 ( $r = 0.90, p < 0.001$ ) がみられた。

跳躍角は女子学生選手 ( $24.7 \pm 1.6 \text{deg}$ ) が，女子一流選手 ( $21.5 \pm 0.9 \text{deg}$ ) と比較して大きかった。跳躍角と記録の間には有意な負の相関がみられた ( $r = -0.80, p < 0.01$ )。

#### 3.2 身体重心鉛直速度比およびポールの湾曲について

図1は最大ポール湾曲率と身体重心鉛直速度比との関係を示したものである。最大ポール湾曲率と身体重心鉛直速度比の間には有意な正の相関がみられた ( $r = 0.92, p < 0.001$ )。このことから，ポールを大きく湾曲させていた選手がポール伸展局面における身体重心速度を大きくできたと考えられる。また，跳躍角と最大ポール湾曲率の間には被験者全体で有意な負の相関 ( $r = -0.62, p < 0.01$ ) がみられ，踏切足離地時に低く跳び出すことがポールを大きく湾曲させることに有効であると考えられる。

#### 3.3 関節角度および体幹角度

図2は踏切後の体幹角速度ピーク値と踏切足離地時の左肘関節角度との関係を示したものである。左肘関節角度は120度から140度を示す選手が多かったが，左肘関節角度が120度より小さい選手（被験

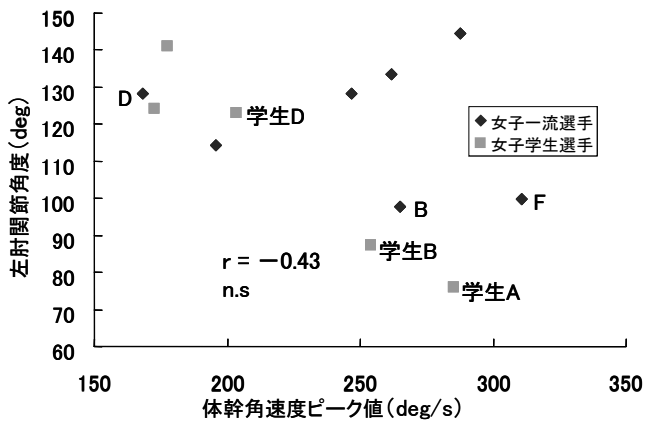


図2 踏切後の体幹角速度ピーク値と踏切足離地時の左肘関節角度との関係

者B, Fおよび学生A, B)もみられた。被験者B, Fおよび学生A, Bは、いずれも体幹角速度ピーク値が大きな値を示した。ここで一流選手および学生選手それぞれ左肘関節角度が120度より小さかった選手と120度から140度を示した選手を典型例として(被験者D, F, および学生A, D), 図3に踏切足離地時からポール伸展時までの体幹角度の変化を示した。被験者Dや学生Dの体幹角度は踏切足離地後、約150度から160度まで増加を続けた。被験者F, および学生Aの体幹角度は踏切足離地直後には一時的に急増するが、約40度から50度まで増加したと

ころで停滞や減少する局面がみられ、ポール伸展時には被験者Dや学生Dより小さかった。

ポール伸展局面において体幹角度が小さいことはバークリアランスのための倒立姿勢をとりやすくすることが考えられる。

図4は図3で事例として示した被験者の左肘関節角度の踏切足接地時、離地時、最大屈曲時の値を示したものである。左肘関節は被験者F, および学生Aは被験者Dおよび学生Dと比較すると踏切足接地から離地の間に著しく減少していた。踏切足接地中の左肘関節の屈曲が棒高跳において踏切後にみられるいわゆる「つぶれる」という現象の原因となる可能性があり、その後の体幹角度変化に影響を及ぼすと考えられる。

左肘関節が踏切中に屈曲するのは、ポールをボックスに突っ込む際の衝撃などによると考えられる。そこで、ポール湾曲開始時をポールがボックスについた時点と仮定して、スティックピクチャーと踏切足位置を示した(図5)。踏切足位置と上側グリップの関係を見ると、踏切足接地位置に対してグリップが身体より後方になる選手が多かった。図3で事例として示

した選手についてみると、被験者Dは踏切足接地位置に対してグリップは身体よりやや後方であるが、ポール湾曲開始時の左肘の屈曲が小さかった。

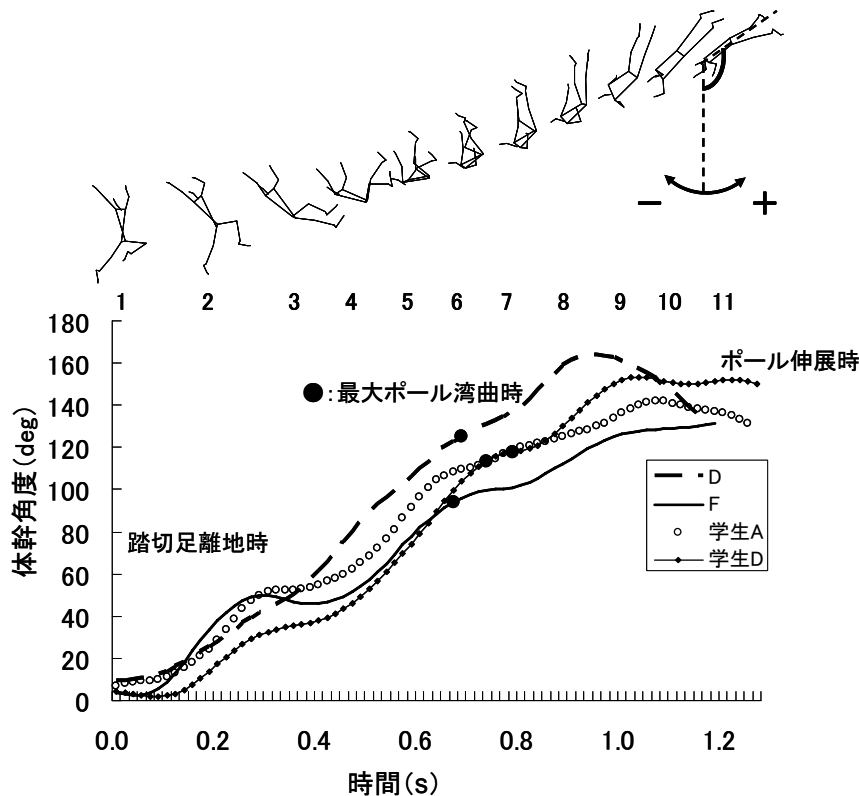


図3 踏切足離地時からポール伸展時における体幹角度の変化

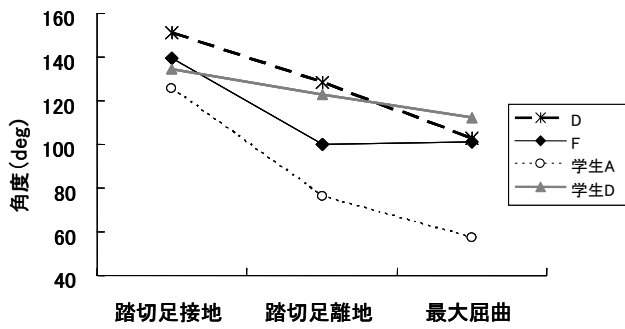
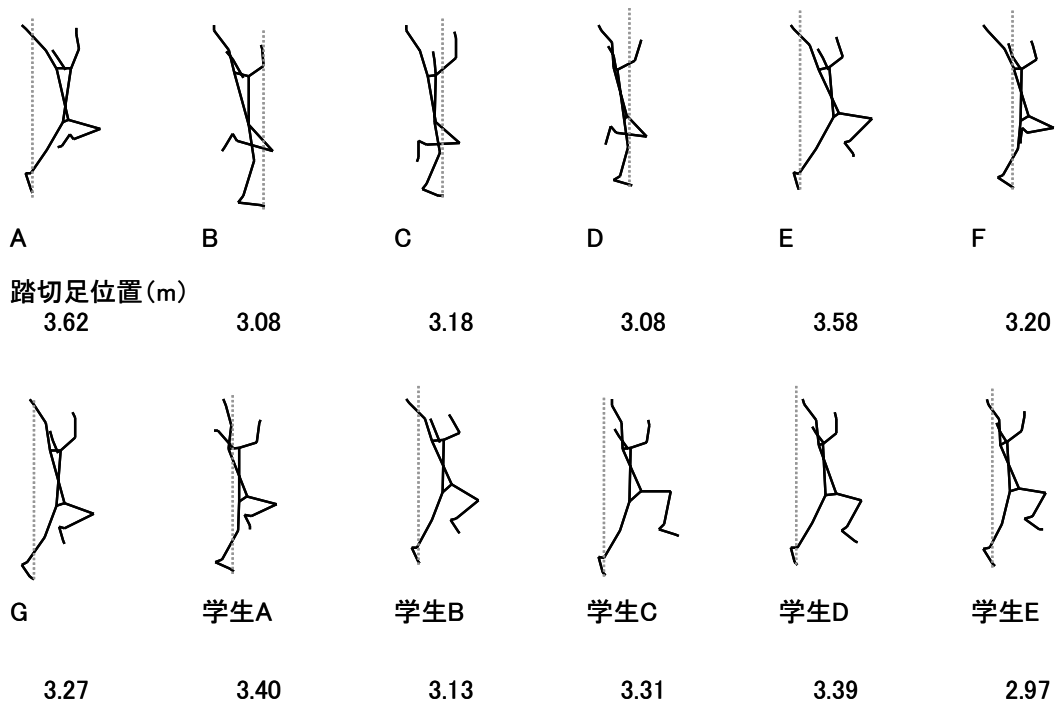


図4 左肘関節角度の変化

学生Dは踏切足位置より前方にグリップがあり左肘の屈曲も小さい。被験者Fはグリップ位置が身体に対して大きく後方であり，左肘関節の屈曲が大きかった。また，学生Aは左肘関節の屈曲が大きく，左手の位置が低かった。これらのことから，ポール湾曲開始時にはグリップの位置が踏切足位置の上方にあること，左肘関節の屈曲が大きくなるようにすることが重要であると考えられる。被験者Aではこのような動作が顕著にみられ，特に左手は他の被験者と比較しても高い位置に上げられ，左肘関節の屈曲を小さくしてポールの湾曲を開始させていた。



数字はボックス先端(アップライト0m)から踏切足つま先までの踏切足位置を示す。

図5 ポール湾曲開始時のスティックピクチャーと踏切足位置