

## 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

武田 理<sup>1)</sup> 村木有也<sup>1)</sup> 小山宏之<sup>1)</sup> 阿江通良<sup>2)</sup>  
1) 筑波大学大学院 2) 筑波大学体育科学系

### 1. はじめに

棒高跳は、ポールを使って跳躍し、跳躍高を競う競技である。ポールの材質の改良に伴い記録は向上し、現在では大きく湾曲するグラスファイバー製のポールの登場により世界記録は6m14(S. ブブカ, ウクライナ)まで引き上げられている。そのためポールの大きな湾曲は棒高跳において記録を高めるのに重要な要素であると考えられる。しかし、これまでにポールの曲がり方に関する研究はほとんど見られないのが現状である。そのため本研究では、ポールの曲がり方に着目し、身体重心速度などとの関係について報告する。

### 2. 方法

VTR撮影は、2003年から2004年にかけて行われた公認陸上競技会における棒高跳に出場した国内外一流選手および学生競技者計15名を分析対象者とした(表1)。VTRカメラは競技場のメインスタンド最前列に水平に固定し、踏切からクリアランスまでを撮影するためボックスの手前6mから奥2mまでを撮影範囲とした。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連科学委員会が撮影したものである。

#### データ処理

撮影したVTR画像から、踏切2歩前離地からポール伸展後15コマまでの動作をビデオ動作解析システム(Frame-DIAS II, DKH社製)によりデジタル化し、身体計測点23点、およびポール上の計測点9点の計32点の座標を得た。得られた座標は2次元DLT法を用いて実座標に換算した。分析点の座標の平滑化は、座標成分ごとに最適遮断周波数を決定し

(Wellsら1980)、Butterworth low-pass digital filterを用いて行った。X座標(水平)が4.2~8.4Hz、Y座標(鉛直)が4.8~8.4Hzの範囲であった。

#### 算出項目

①身体重心高、重心水平および鉛直速度、跳躍角計測点の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重心位置を算出した。重心速度は重心変位を時間微分して算出し、跳躍角は踏切離地時の重心速度ベクトルが水平面となす角度とした。

#### ②踏切局面における重心水平速度減速率

踏切脚の膝関節が最も屈曲した時点を踏切中間点(MKF)とし、踏切足接地(TD)から踏切中間点まで(踏切前半)、踏切中間点から踏切足離地(TO)まで(踏切後半)、TDからTOまで(踏切全体)の、各局面における重心水平速度減速率を以下の式で算出した。

踏切前半の減速率 :  $DRTD-MKF = (VMKF - VTD) / VTD \times 100$

踏切後半の減速率 :  $DRMKF-TO = (VTO - VMKF) / VMKF \times 100$

踏切全体の減速率 :  $DRTD-TO = (VTO - VTD) / VTD \times 100$

ここで、VMKFは踏切中間点の重心水平速度、VTDは踏切足接地時の重心水平速度、VTOは踏切足離地時の重心水平速度である。

#### ③ポール湾曲率

ポールの上端と下端を結んだ線分の長さを弦長とし、湾曲開始から伸展終了までの弦長を算出した。ポール伸展時の弦長に対する各時点の弦長の比率をポール湾曲率(以下の式)とし、最も湾曲率が大きい時点を最大湾曲時(MBP)とした。

ポール湾曲率 =  $100 - (\text{各時点の弦長} /$

表1 踏切接地時，中間点，離地時における重心水平および鉛直速度，跳躍角，記録

分析対象者	踏切足接地時			踏切中間点		踏切足離地時		跳躍角(deg)
	記録(m)	水平(m/s)	鉛直(m/s)	水平(m/s)	鉛直(m/s)	水平(m/s)	鉛直(m/s)	
A	5.50	9.63	-0.53	8.56	1.78	7.52	2.19	18.24
B	5.80	9.40	0.20	8.20	2.46	7.71	2.57	18.79
C	5.40	9.11	0.11	8.16	2.04	7.50	2.17	16.96
D	5.20	8.66	-0.16	7.65	2.32	7.12	2.06	18.54
E	6.04	9.31	0.49	8.34	1.97	8.13	2.37	16.25
F	5.20	9.05	-0.71	8.14	1.55	7.33	2.16	17.86
G	5.20	9.05	0.26	7.59	2.35	6.96	2.29	19.51
H	5.50	8.89	0.29	7.55	2.84	7.09	2.14	18.08
I	5.40	8.94	0.28	7.62	2.55	6.81	2.39	19.90
J	5.20	8.92	-0.05	7.46	1.76	6.81	2.49	20.68
学生A	5.20	8.67	-0.12	7.74	1.31	6.94	1.95	16.59
学生B	5.20	9.46	-0.62	7.79	2.53	7.22	2.86	21.25
学生C	4.60	8.40	0.27	6.87	2.58	6.26	2.79	24.79
学生D	4.20	8.40	0.32	6.98	2.29	6.23	2.51	22.36
学生E	4.60	8.61	-0.043	7.29	2.09	6.32	2.77	23.69
平均±標準偏差	5.21±0.47	8.96±0.38	-0.001±0.37	7.73±0.48	2.16±0.43	7.06±0.54	2.38±0.28	19.57±2.56

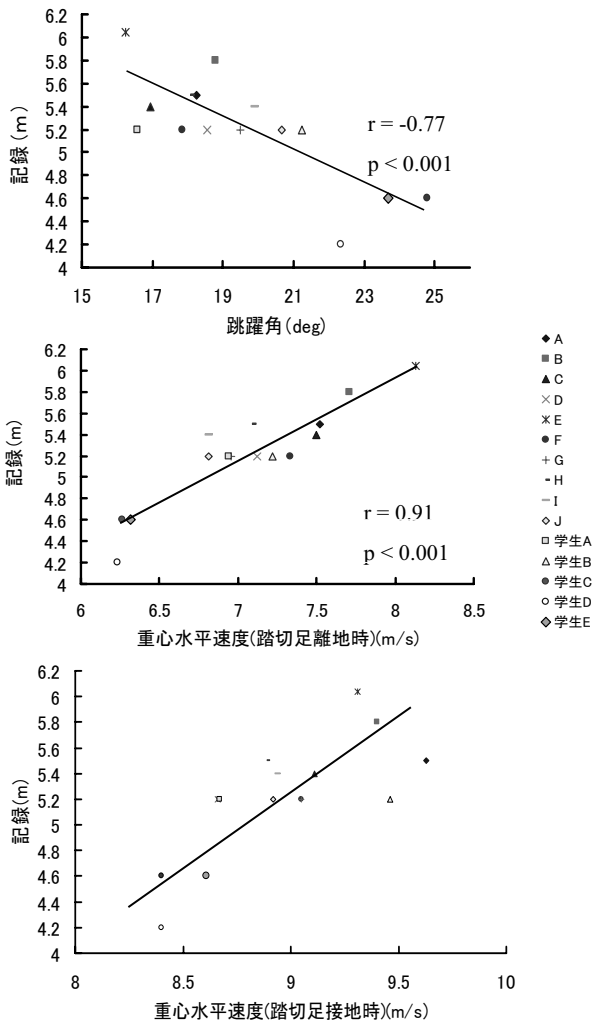


図1 跳躍角および重心水平速度と記録の関係

ポール伸展時の弦長) × 100

⑤ポール最大湾曲点

最大湾曲時におけるポール各部分の曲率半径を次式で算出し、曲率半径の最も小さい点を最大湾曲点とした。そして、ポールの下端から最大湾曲点まで

の各部分長の総和を、最大湾曲時のポール長で除すことにより、最大湾曲点の相対位置を算出した。

$$R_i = L_i / (\theta_{i+1} - \theta_i)$$

ここで、 $R_i$  はポール部分  $i$  の曲率半径、 $\theta_i$  および  $\theta_{i+1}$  はポール各部分とが水平となす角度、 $L_i$  はポール部分  $i$  の部分長を示している。曲率半径が小さいと湾曲が大きいことを示す。

各算出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%以内とした。

3. 結果と考察

3.1 重心速度および跳躍角

表1は分析対象者の踏切足接地時、中間点、離地時における重心速度、跳躍角などを示したものである。平均で見ると、重心水平速度は踏切足接地時が最も大きく ( $8.96 \pm 0.38$  m/s)、踏切足離地時 ( $7.06 \pm 0.54$  m/s) にかけて減少した。鉛直速度は踏切足接地時 ( $-0.001 \pm 0.37$  m/s) が最も小さく、中間点をへて、踏切足離地時 ( $2.38 \pm 0.28$  m/s) にかけて増加していた。

図1は分析対象者の記録と踏切足接地時と離地時における重心水平速度および跳躍角の関係を示したものである。重心水平速度と記録との間には有意な正の相関が見られた ( $r = 0.91, p < 0.001$ )。また、跳躍角と記録との間にも有意な負の相関が見られた ( $r = -0.77, p < 0.001$ )。

3.2 重心水平速度減速率

表2は踏切局面における重心水平速度減速率および記録に対する相関係数を示したものである。平均

表2 踏切局面における重心水平速度減速率および記録との相関係数

分析対象者	DR TD-MKF(%)	DR MKF-TO(%)	DR TD-TO(%)
A	-11.1	-12.1	-21.9
B	-12.8	-6.0	-18.0
C	-10.4	-8.1	-17.7
D	-11.7	-6.9	-17.8
E	-10.4	-2.5	-12.7
F	-10.1	-10.0	-19.0
G	-16.1	-8.3	-23.1
H	-15.1	-6.1	-20.2
I	-14.8	-10.6	-23.8
J	-16.4	-8.7	-23.7
学生A	-10.7	-10.3	-20.0
学生B	-17.7	-7.3	-23.7
学生C	-18.2	-8.9	-25.5
学生D	-16.9	-10.7	-25.8
学生E	-15.4	-13.2	-26.6
平均±標準偏差	-13.8±2.9	-8.7±2.7	-21.3±3.8
相関係数	0.60	0.67	0.83
	(p < 0.05)	(p < 0.01)	(p < 0.001)

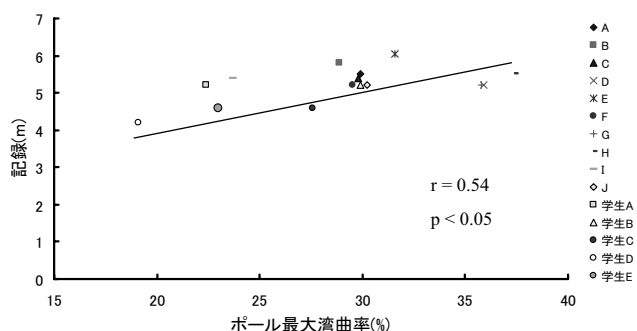


図2 ポール最大湾曲率と記録の関係

では、踏切前半の減速率は後半より大きかったが（前半  $-13.8 \pm 2.9\%$ ；後半  $-8.7 \pm 2.7\%$ ）、一流選手A、およびEのように後半の減速率が大きい選手も見られた。一方、一流選手Eは後半の減速率が $-2.5\%$ と小さい値を示した。踏切全体の重心水平速度減速率と記録との間には有意な正の相関が見られ ( $r=0.83, p<0.001$ )、踏切前半および後半においても有意な正の相関が見られた（前半  $r=0.60, p<0.05$ ；後半  $r=0.67, p<0.01$ ）。

### 3.3 ポールの湾曲

図2は記録とポール最大湾曲率の関係を示したものである。記録とポール最大湾曲率との間には有意な正の相関が見られた ( $r = 0.54, p < 0.05$ )。図3はポール最大湾曲率と跳躍角および重心速度との関係を示したものである。跳躍角、重心水平速度とポール最大湾曲率の間には有意な相

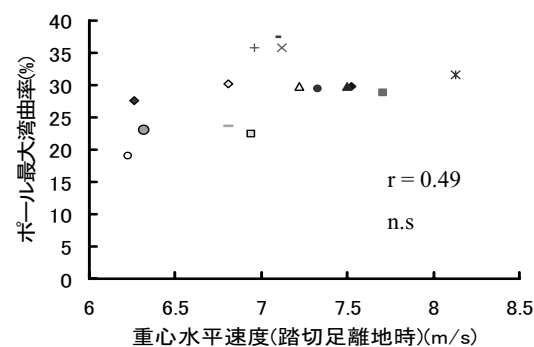
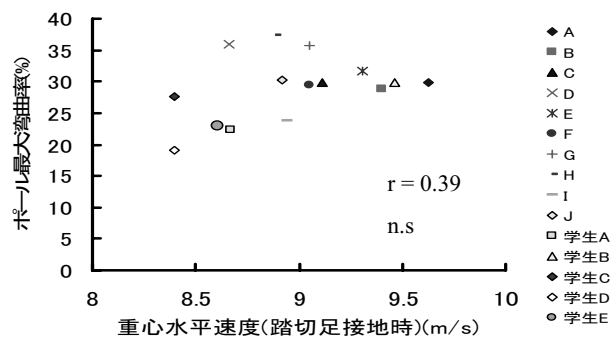
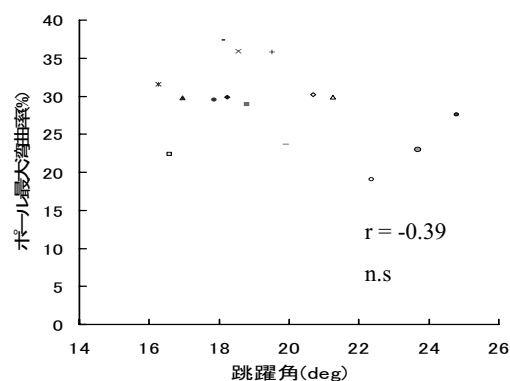


図3 重心速度および跳躍角とポール最大湾曲率の関係

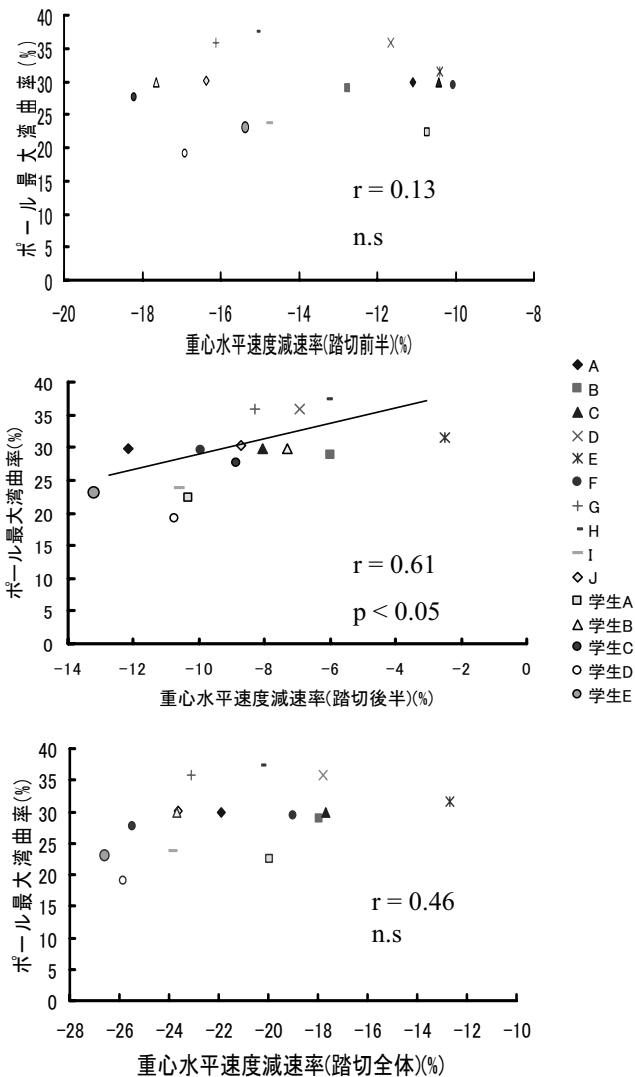


図4 重心水平速度減速率とポール最大湾曲率の関係

関は見られなかった。

図4は踏切における重心水平速度減速率とポール最大湾曲率との関係を示したものである。踏切前半および踏切全体の重心水平速度減速率とポール最大湾曲率との間に有意な相関は見られなかったが、踏切後半の重心速度減速率との間には有意な正の相関が見られた ( $r = 0.61$ ,  $p < 0.05$ )。

図5はポール最大湾曲点と記録との関係を示したものである。両者間には有意な関係は見られなかった。しかし、両者の関係は最大湾曲点が55～70%あたりで高い記録を示すものが多い2次曲線的傾向が見られた。

#### 4. まとめ

本分析では、ポールの湾曲やポールの最大湾曲点と記録との関係について明らかにできた。ポールの

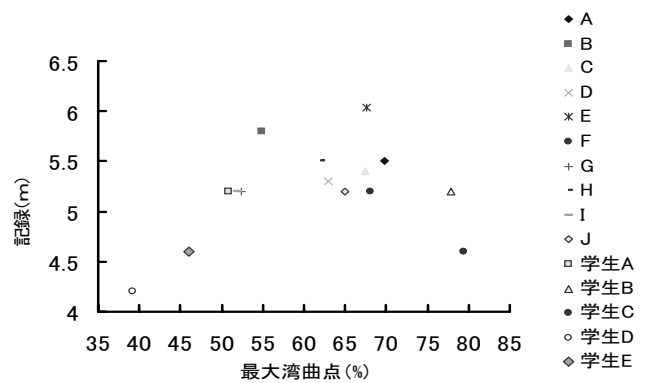


図5 ポール最大湾曲点と記録の関係

湾曲は記録を高めるために重要な要素の一つであると考えられ、ポールの最大湾曲位置についても2次曲線的な関係を示すことからポールの湾曲には記録を高めるために最適な位置が存在すると考えられる。また、ポールを大きく湾曲させる要因については、踏切後半での重心水平速度の減速が関与していることから、踏切局面での減速を抑える動作が重要であると考えられる。今後は、踏切での減速の要因など跳躍者の動作を明らかにすることでポールの湾曲を大きくする要因、ポールの最適な位置を湾曲させるための動作など詳細な関係が明らかにできると考えられる。そのため今後は、3次元分析に発展させ、より詳細な分析を行う必要があると考えられる。