

## 近年の走り高跳び日本一流選手の踏切動作と高校一流選手の特徴 —キネマティクスに着目して—

磯崎 大二郎<sup>1)</sup> 小山 宏之<sup>2)</sup>

1) 京都教育大学大学院 2) 京都教育大学

### 1. はじめに

国内の走り高跳びは、2006年に醍醐直幸選手が2m33cmの日本記録を樹立して以降、2m30cmを超える選手は出ておらず、世界大会の標準記録を破る選手も現れていない。走り高跳びに関する基礎的資料は、2007年に大阪で第11回世界選手権が行われたため、海外選手に関するデータは揃えられた。一方、近年の国内選手に関する基礎的資料は十分でなく、トラック種目や他のフィールド種目に比べ情報が不足していると考えられる。そこで本報告では、日本一流選手12名の踏切動作のキネマティクスの特徴を報告し、合わせて2012新潟インターハイ決勝進出者および2007大阪世界陸上入賞者の特徴と比較、検討を行う。

### 2. 方法

#### 2.1 分析対象者

日本一流選手は、2009、2012、2013年日本選手権および2011年アジア選手権に出場した12名（以下、日本）、高校一流選手は2012年高校総体北信越かがやき総体に出場した上位12名中、左足踏切であった10名（以下、IH）である。

#### 2.2 分析試技

日本選手はベスト記録から95%以上の成功試技を分析し、高校IH選手は総体での最高跳躍を分析した。

#### 2.3 撮影及びデータ処理

二台のハイスピードカメラを用いて固定撮影を行った。撮影したVTR画像から、踏切足接地の10コマ前から離地後10コマまでの身体分析点25点をビデオ動作分析システム（Frame-DIAS IV, DKH社

製）により毎コマデジタル化した。そして、2台のカメラの身体分析点とコントロールポイントの座標から、DLT法を用いて身体分析点の3次元座標を算出した。

身体分析点の3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、バターース型デジタルフィルターを用いて平滑化した。

#### 2.4 算出項目

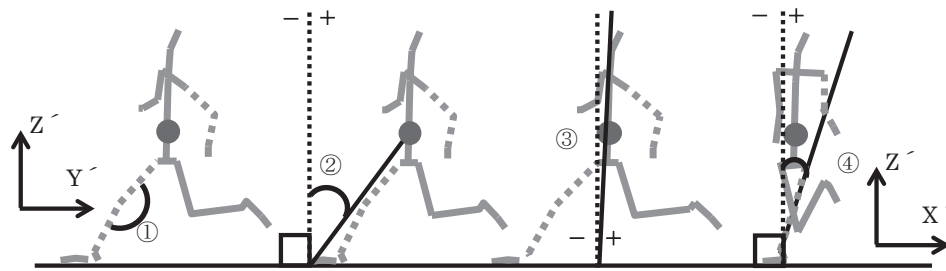
以下に示す項目を算出した。図1は角度定義を示している。

- (1) H1: 踏切足が離地する瞬間の身体重心高
- (2) H2: 離地後の身体重心の上昇高  
(本報告では、離地時の鉛直速度から $V^2/2g$ の式により算出した。  $g = 9.81$ )
- (3) H3: 身体重心の最大値 (H1+H2) とバーの高さとの差
- (4) 接地時間
- (5) 重心水平速度、鉛直速度
- (6) 踏切脚膝関節角度および角速度  
(伸展を正、屈曲を負とする)
- (7) 足先から重心を結ぶ線分の前後傾角度 (前傾を負、後傾を正とする)
- (8) 体幹の前後傾角度  
(前傾を負、後傾を正とする)
- (9) 鉛直力積

踏切中間の鉛直速度から接地時の鉛直速度を引き、体重と掛け合わせたもの (前半)。後半は、離地時の鉛直速度から中間の鉛直速度を引き、体重と掛け合わせたもの。

#### 2.5 局面定義

踏切脚膝関節の最大屈曲時を踏切の中間とし、それ以前を踏切前半、以降を踏切後半とする。



- ①踏切脚膝関節角度(大転子と膝関節を結んだ線分と踝と膝関節が結んだ線分の成す角度)
- ②足先-重心前後傾角度(足先と重心を結んだ線分が垂線と成す角度)
- ③体幹前後傾角度(肩の midpoint と股関節の midpoint を結んだ線分が垂線と成す角度)
- ④身体の内傾角度(大転子と踝を結んだ線分が垂線と成す角度)

図1 角度定義

### 3. 結果および考察

表1は日本選手、IH選手および2007年世界選手権(2010)のパフォーマンスを規定する要因と日本選手のアームアクションを示している。またアームアクションのSはシングルアーム、RはランニングアームそしてDはダブルアームを示している。

#### 3.1 パフォーマンス要因

H1は日本選手とIH選手との平均には差はみられなかった。日本選手個々のH1に注目すると、1.17~1.31mと大きな差があることがわかる。このH1の差に関して、Iiboshiら(1993)は身長のみならず、アームアクションによって生じるものであると報告している。例えば、日本選手の醍醐選手と土屋の身長差は11cmだが、醍醐選手はランニングのように

腕を前後に振り上げるランニングアームアクションを行い、腕を体幹周囲に保持するためH1が小さく身長比も64%と最も低い値を示しているのに対し、土屋選手は片腕を突き上げるシングルアームアクションのために身長比で68%と平均の値を示し、H1は同じ1.17mとなっている。日本選手と世界選手を比較すると、H1は日本選手の方が有意に小さく、約20cmもの差がみられた。世界選手は日本選手に比べ12cm身長が高いが、H1の身長比でも世界選手の方が有意に大きかった。このことから、世界選手は、身長のみならず跳躍フォームによって高いH1を獲得していることが考えられる。現に、第11回世界選手権の選手8名中、シングルアームフォームが3名、最もH1が高くなるといわれているダブルアームフォームが5名であった。

H2は日本選手の方がIH選手に比べ有意に大き

表1 各群のパフォーマンス規定要因

被験者	アーム アクション	身長(m)	体重(kg)	分析試技(m)	最大重心高(m)	H1/身長(%)	H1(m)	H2(m)	H3(m)
高張	S	1.82	66	2.24	2.24	71	1.29	0.96	0.01
醍醐	R	1.82	67	2.24	2.41	64	1.17	1.23	-0.17
戸辺	S	1.94	70	2.21	2.27	67	1.29	0.98	-0.06
衛藤	D	1.82	69	2.20	2.40	72	1.31	1.10	-0.20
土屋	S	1.71	58	2.20	2.30	68	1.17	1.14	-0.10
久保田	D	1.77	66	2.15	2.34	68	1.21	1.13	-0.19
富山	R	1.88	73	2.15	2.16	69	1.31	0.85	-0.01
江戸	D	1.82	69	2.15	2.33	69	1.25	1.08	-0.18
尾又	S	1.74	63	2.15	2.35	70	1.21	1.14	-0.20
元吉	S	1.83	67	2.15	2.20	69	1.27	0.93	-0.05
高山	D	1.73	64	2.15	2.39	70	1.20	1.19	-0.24
赤井	S	1.79	68	2.15	2.30	71	1.27	1.03	-0.15
TOP ave	-	1.81	66.7	2.18	2.31	69	1.24	1.06	-0.13
SD	-	0.06	3.7	0.04	0.08	2	0.05	0.11	0.08
IH ave	-	1.80	62.8	2.06 <sup>aa</sup>	2.16 <sup>aa</sup>	68	1.22	0.95 <sup>aa</sup>	-0.10
SD	-	0.06	5.2	0.03	0.06	2	0.04	0.08	0.06
World ave	-	1.93 <sup>bb</sup>	76 <sup>bb</sup>	2.31 <sup>bb</sup>	2.41 <sup>bb</sup>	74 <sup>bb</sup>	1.43 <sup>bb</sup>	0.98	-0.09
SD	-	0.05	7.3	0.04	0.06	1	0.05	0.08	0.04

日本-IH[a:p<0.05 aa:p<0.01] 日本-世界[b:p<0.05 bb:p<0.01]

かった。両群ではH1の平均値がほぼ同じであったことから、パフォーマンスの違いはH2によるものであることがわかる。また、日本選手と世界選手では有意な差は見られなかったが、平均では日本選手の方が8cm上回っていた。

以上のことから、日本選手は世界選手に比べH2は大きいですが、H1において大きな差があるために最大重心高は約10cmの開きがある。しかし、H1は身長や跳躍フォームに大きく影響をうけるため大きな向上は見込めないと予想される。したがって、今後H2の向上が不可欠であると考えられる。

### 3.2 接地時間、身体重心速度および力積

表2は、各群の接地時間、踏切接地時、中間および離地時の重心速度を示し、表3は踏切前後半の鉛直力積を示している。日本選手とIH選手では日本選手の方が踏切後半および全体の踏切時間が有意に大きかった。また世界選手とでは、世界選手の方が有意に大きい値を示した。

接地時の水平速度は日本選手と高校選手では日本選手の方が有意に大きかったが、世界選手とでは同程度であった。接地時の鉛直速度に関しては、日本選手とIH選手では有意な差は見られなかったが、世界選手では日本選手の方が有意に小さく、負の値であった。

次に、踏切前後半の力積に注目すると、日本選手はIH選手に比べ踏切前半で加えた力積が有意に大きく、一方で踏切後半の力積には有意な差は見られ

なかった。重心鉛直速度との関係を考えると、踏切中間点での鉛直速度は日本選手の方が有意に大きく、踏切前半の力積との間に正の相関( $r=0.88$ )が見られた。これらのことから、踏切前半局面は鉛直速度を大きくする上で重要であると考えられる。

### 3.3 身体の傾き

表4は各群の身体の傾きおよび踏切脚膝関節角度に関する項目を示している。接地時の身体の傾きの

表3 各群の踏切前後半の鉛直力積

被験者	踏切 力積(N·s)	
	前半	後半
高張	232.8	73.4
醍醐	297.8	78.6
戸辺	277.2	57.9
衛藤	246.6	99.3
土屋	192.5	93.1
久保田	186.1	129.7
富山	247.5	89.1
江戸	225.2	104.3
尾又	196.1	105.1
元吉	195.9	93.4
高山	248.9	99.2
赤井	316.4	28.0
TOP ave	238.6	87.6
SD	40.9	24.9
IH ave	193.0 <sup>aa</sup>	86.7
SD	34.2	20.9
World ave	-	-
SD	-	-

日本-IH[a:p<0.05 aa:p<0.01]

表2 各群の接地時間および身体重心速度

被験者	接地時間(s)			鉛直速度(m/s)			水平速度(m/s)	
	前半	後半	全体	接地	中間	離地	接地	離地
高張	0.092	0.083	0.175	-0.22	3.36	4.41	7.58	3.86
醍醐	0.059	0.089	0.149	-0.60	2.92	5.01	7.59	3.61
戸辺	0.092	0.059	0.152	-0.32	3.02	4.46	7.76	4.11
衛藤	0.086	0.079	0.165	-0.28	3.68	4.73	7.66	3.83
土屋	0.050	0.099	0.149	-0.11	3.26	4.81	7.48	4.04
久保田	0.069	0.079	0.149	0.02	3.37	4.81	7.24	3.85
富山	0.083	0.079	0.162	-0.44	3.91	4.17	7.83	4.08
江戸	0.059	0.109	0.168	-0.07	3.30	4.70	7.59	4.17
尾又	0.069	0.066	0.135	0.04	3.22	4.82	7.40	3.74
元吉	0.076	0.079	0.155	0.03	3.02	4.35	7.56	4.25
高山	0.083	0.076	0.158	-0.52	3.43	4.92	8.13	3.77
赤井	0.096	0.073	0.168	-0.48	4.26	4.59	7.79	4.05
TOP ave	0.076	0.081	0.157	-0.25	3.40	4.65	7.63	3.95
SD	0.014	0.013	0.011	0.22	0.37	0.24	0.22	0.19
IH ave	0.071	0.065 <sup>a</sup>	0.137 <sup>aa</sup>	-0.06	3.05 <sup>a</sup>	4.39 <sup>aa</sup>	7.24 <sup>aa</sup>	3.98
SD	0.010	0.010	0.016	0.24	0.32	0.18	0.32	0.30
World ave	-	-	0.171 <sup>b</sup>	0.04 <sup>b</sup>	-	4.37	7.56	3.92
SD	-	-	0.025	0.22	-	0.18	0.29	0.40

日本-IH[a:p<0.05 aa:p<0.01] 日本-世界[b:p<0.05 bb:p<0.01]

各項目において、日本選手と IH 選手の間で有意な差はなかった。また踏切中の時系列でも、有意な差がみられなかった。

世界選手と日本選手では、世界選手の方が内傾角は有意に大きく、また体幹角は有意に小さかった。奥山ら (2003) は、接地時に踏切脚を内傾させることで股関節外転筋を有効に使うことができ、最終的に鉛直速度向上に役立つと述べている。そのため、世界選手は内傾角を大きくすることで鉛直速度を大きくしていることが考えられる。

### 3.4 踏切脚膝関節

表 5 は踏切脚膝関節の接地時・最大屈曲時・離地時の関節角度、屈曲量、伸展量および正・負の角速度ピーク値を示している。踏切脚膝関節の屈曲量には違いが見られないが、伸展量は日本選手の方が有意に小さかった。また、角速度の正のピーク値（伸展の角速度）も日本選手の方が有意に小さく、膝をゆっくりと伸展していた。

## 4. まとめ

Dapena (1988) は、踏切脚が前半にエキセントリックな筋発揮、また後半ではゆっくりとしたコンセントリックな筋発揮を用いれば大きな力積を獲得し、鉛直速度を得ることができると報告している。日本選手は、接地時の水平速度が大きく、鉛直速度の平均は負の値を示していた。このことから、接地直後

に日本選手の踏切脚には大きな負荷が掛かっていると考えられる。踏切脚に大きな負荷が掛かると関節が負荷に耐えきれなくなり過度に屈曲した「つぶれた」跳躍になる可能性がある。しかし、日本選手と IH 選手の間で踏切脚膝関節の屈曲量に違いが認められなかった。このことから、日本選手の踏切脚は大きな負荷に耐えうる筋力を持ち合わせ、そしてエキセントリックな筋発揮を行うことによって踏切前半に大きな力積を獲得したと示唆される。また、踏

表 4 各群の身体の傾き

被験者	傾き(deg)		
	後傾角	内傾角	体幹角
高張	43.2	3.7	12.6
醍醐	42.1	0.2	17.6
戸辺	39.2	1.5	16.3
衛藤	44.1	4.2	17.8
土屋	43.3	2.1	17.8
久保田	40.3	1.3	13.4
富山	38.3	3.5	11.5
江戸	41.1	1.5	13.9
尾又	38.1	0.0	15.5
元吉	40.7	2.2	16.9
高山	46.5	0.3	18.5
赤井	45.6	4.4	18.5
TOP ave	41.9	2.1	15.9
SD	2.6	1.5	2.3
IH ave	39.8	2.8	15.4
SD	3.0	1.2	2.6
World ave	40.1	5.8 <sup>bb</sup>	11.2 <sup>bb</sup>
SD	2.9	2.6	3.0

日本-IH [b: p<0.05 bb: p<0.01]

表 5 各群の踏切脚膝関節角度および屈伸角速度のピーク値

被験者	踏切脚膝関節(deg)						踏切脚膝関節 角速度(deg/s)	
	接地時	最大屈曲時	離地時	屈曲量	伸展量	屈曲	伸展	
高張	166.3	151.2	174.6	15.2	23.4	-341.0	550.3	
醍醐	174.3	141.6	165.1	32.7	23.5	-520.5	568.6	
戸辺	162.2	130.1	165.2	32.1	35.1	-657.6	874.5	
衛藤	166.9	131.6	165.6	35.4	34.1	-692.9	582.5	
土屋	160.7	142.9	168.1	17.9	25.2	-407.5	533.5	
久保田	168.0	136.8	175.3	31.2	38.5	-715.7	737.2	
富山	168.7	134.0	169.8	34.5	35.6	-627.1	743.8	
江戸	161.8	135.9	170.1	25.9	34.2	-524.2	670.0	
尾又	161.6	151.9	177.1	9.7	25.2	-296.6	509.0	
元吉	162.4	150.7	175.1	11.7	24.4	-418.5	509.2	
高山	168.8	139.5	169.7	29.4	30.3	-555.0	542.5	
赤井	166.2	151.1	172.4	15.1	21.3	-403.2	400.2	
TOP ave	165.7	141.4	170.7	24.2	29.2	-513.3	601.8	
SD	3.9	7.8	4.0	9.2	5.7	134.7	125.0	
IH ave	163.5	138.5	173.2	25.0	34.7 <sup>a</sup>	-573.5	731.8 <sup>a</sup>	
SD	5.9	6.6	3.3	6.1	5.8	99.7	141.2	
World ave	161.7	139.1	172.0	22.6	32.9	-	-	
SD	6.7	8.5	4.3	9.8	7.0	-	-	

日本-IH [a: p<0.05 aa: p<0.01]

切脚膝関節の伸展角速度が小さいことから、ゆっくりとしたコンセントリックな筋発揮をしながら脚を伸展させていると考えられ、これらのことがH2を大きくする要因であると考えられる。

世界の走り高跳び選手の平均身長は195cmとも言われ、身長に左右される種目である。実際、離地時の重心高(H1)は約20cmもの差が生じていた。H1は、身長や跳躍フォームに大きな影響をうけるため、比較的の小柄な日本選手がH1の差を埋めることは現実的に難しい。一方、世界選手と同等な鉛直速度を獲得していたことは日本が高度な踏切技術を伝えられているからではないだろうか。ただ、今後世界に通用する選手を育成するためにはさらなる技術開発が必要であり、特にH2を大きくする要因と考えられる踏切前半でのエキセントリックな筋発揮の強化と、踏切脚により大きな負荷を掛ける踏切姿勢の習得が不可欠であると推測される。

## 5. 文献

- 阿江通良ら (2010) 第11回世界陸上男子走高跳上位入賞者の跳躍動作のバイオメカニクスの分析. 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術 p169-174
- Dapena, J. & Chung, C, S. (1988) Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jumping. *Med. Sci, Sports Exercise* 20, 290-302.
- Iiboshi et al. (1993) Techniques of elite high jumpers at the 3rd IAAF World Championships in athletics. *Abstracts of the International Society of Biomechanics, XIVth Congress, I*, pp. 608-609. vol.
- 奥山良樹 (2003) 走り高跳びの3次元関節キネティクス. 筑波大学大学院修士論文
- Wells, R. P., D. A. Winter (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion, I*, 92-93.