

## 2005 スーパー陸上におけるイシンバエワ選手の動作分析

林 忠男<sup>1)</sup> 小林 史明<sup>1)</sup>

1) 日本体育大学

### はじめに

棒高跳び競技ではポールインパクト時（ポール先端がボックスに打突する瞬間）および踏み切り動作はパフォーマンスに大きく影響する。にもかかわらず踏み切り動作は選手のレベルのみならず、同レベルの選手間であっても大きく異なっている。これらを解析し、パフォーマンスレベルあるいは選手の特徴にあわせた指導をおこなうことが競技成績の向上につながると考えられる。

### 目 的

世界記録保持者と国内エリート女子選手の踏切動作におけるデータを比較分析することで、それぞれの特徴をつかむとともに、国内エリート選手に必要な要素部分を明確にすることを目的とする。

### 対 象

- ・「スーパー陸上2005ヨコハマ」における女子棒高跳び競技：エレナ・イシンバエワ選手（現世界記録保持者：5m01cm）
- ・日時：2005年9月19日（月／祝日）
- ・場所：横浜国際総合競技場

### 方 法

1. 棒高跳び助走路前方約80mおよび、踏み切り位置の側方約30mの位置から2台のハイスピードカメラで踏み切り2歩手前からロックバック姿勢前までを毎秒500コマで撮影。また1台のデジタルビデオカメラにより踏み切り位置の側方約20mから跳躍全体を毎秒60コマで撮影した。

2. 3次元および2次元分析用キャリブレーションポイント（空間内座標を規定するためのフレーム）をレーン上の複数箇所撮影した。

3. 分析対象部分およびキャリブレーション映像を切り出しコンピュータに取り込み、ハイスピード映像は毎秒250コマで、DV映像は毎秒60コマでデジタル化し、3次元動作分析をおこなった。

4. デジタル化は全身21ポイント（頭頂、第7頸椎、第5腰椎、右上前腸骨棘、右大転子、右膝、右踝、右足踵、右足先、右肩、右肘、右グリップ、左上前腸骨棘、左大転子、左膝、左踝、左足踵、左足先、左肩、左肘、左グリップ）、ポール後端、ポール屈曲点（ポール中央部マークの先端）、およびポール先端の合計24ポイントをおこなった。

5. 1991年東京世界陸上における淵元、高松、阿江らによる棒高跳び分析項目を参考に踏み切り動作前後の重心速度、踏み切り時グリップ高、ポール角、重心高、水平速度、鉛直速度、合成速度、踏み切り角を求めた。

### 結 果

図1はイシンバエワ選手の4.50m跳躍における踏み切り動作をあらわしたものである。上段は助走側面への投影成分をスティックピクチャー化したもので、下段は助走正面への投影成分をスティックピクチャー化したものである。いずれも図の左から右にいくにしたがって10/250秒時間ずつ経過した局面を列挙している。像が重ならないようにするため、上図では実際の位置より1フェーズあたり24cm右にずらし、下図では1フェーズあたり53cmずつ右にずらしてプロットされている。これに対して

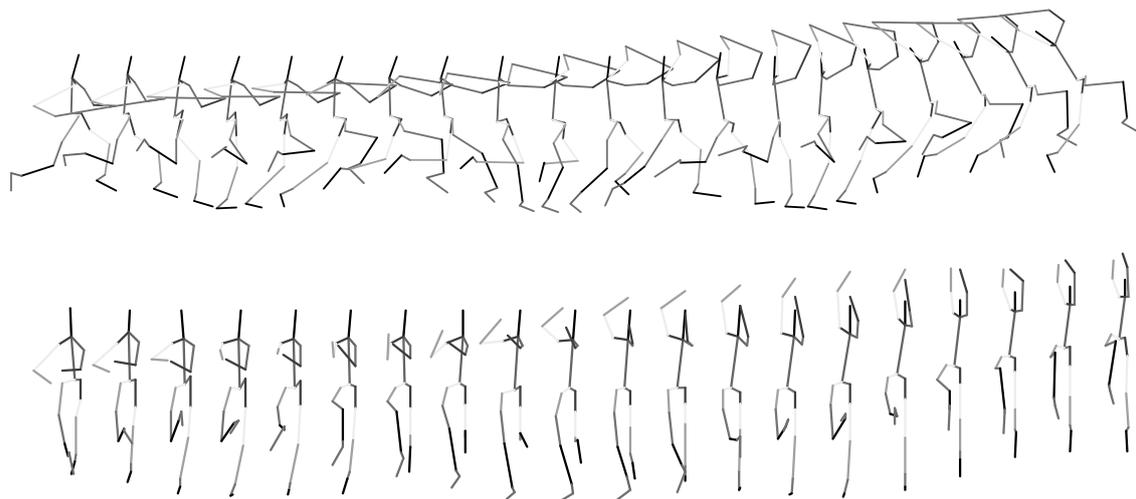


図1. イシバエワ選手の4.50m跳躍試技における踏切り動作。上段は助走側面への投影成分をスティックピクチャー化したもの。下段は助走正面への投影成分をスティックピクチャー化したもの。いずれも図の左から右にしたがって10/250秒時間経過した局面を列挙している。

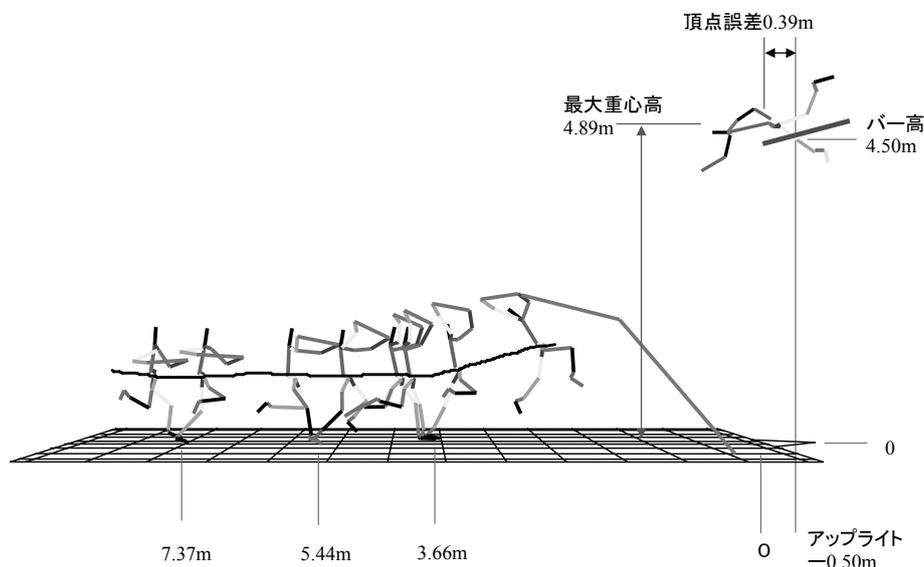


図2. イシバエワ選手の助走局面および最大重心高局面の位置データ。スティックピクチャーは左から2歩前接地、離地、1歩前接地、離地、踏切り接地、ポールインパクト（打突）、踏切り離地、上昇局面、最大高到達時を表している。

図2では各フェーズの相対位置関係を保ったままプロットしている。

図2はイシバエワ選手の助走局面および最大重心高局面の位置データを図示したものである。スティックピクチャーは左から2歩前接地、離地、1歩前接地、離地、踏切り接地、ポールインパクト（打突）、踏切り離地、上昇局面、最大高到達時を示している。床面下の数字は助走路先端を基準としたときの距離を表している。したがって走路先端が0mで、そこから助走路上流に行くにしたがって距離が大きくなっている。また走路先端を超える位置はマイナス距離で示してあり、イシバエワ選手の

4.50m跳躍ではアップライトが50cmであった。図右側には走路面を基準としたときのバー高を示してある。このときの最大重心高は4.89mであった。また本跳躍において重心頂点座標は走路方向11cmであり、バー手前39cmの位置であった。

表1は「スーパー陸上2002横浜」における各選手および「スーパー陸上2005横浜」におけるイシバエワ選手の踏切り接地前、ポールインパクト時および踏切り時（踏切り脚が離地した瞬間）の各データを表したものである。ここでいう「踏切り接地前」重心速度は、踏切り1歩前の離地から踏

表 1. 各選手のポールインパクト時（ポールがボックス先端に衝突した瞬間）、および踏み切り時（踏み切り足が離地した瞬間）の各データ。上記データ中、真島選手、中野選手およびイシンバエワ選手の試技は不成功であった。グリップ-重心角度は上把手と重心を結ぶ直線が鉛直線となす角度。

	踏切り接地前	ポールインパクト時			踏み切り時				踏切り角 度
	重心速度 [cm/sec]	ポール角度 [degree]	体幹角度 [degree]	グリップ- 重心角度 [degree]	踏切り 位置 [cm]	水平速度 [cm/sec]	鉛直速度 [cm/sec]	合成速度 [cm/sec]	
アダムス4.0	820	37	7	9	337	630	210	664	18
サウアー4.0	839	29	6	2	335	660	300	725	24
ピレク4.0	820	32	1	-9	336	600	300	671	27
モルナー4.2	840	33	-2	-10	344	660	240	702	20
モルナー4.0	810	32	5	-9	335	660	240	702	20
江口3.9	779	37	4	1	308	630	210	664	18
小野4.0	839	33	0	0	309	630	270	685	23
真島3.9	719	35	-1	-5	291	630	210	664	18
中野4.0	839	35	-3	-4	334	630	270	685	23
イシンバエワ4.5	857	28	-11	-10	366	725	200	752	15

切り接地までの平均重心速度を示している。これらのうち真島選手、中野選手およびイシンバエワ選手の試技は不成功で、他の試技はすべてバーをクリアしたものである。最左列には選手名および試技高をm単位で示してある。第2列には踏切り脚が接地する前の重心速度をcm/秒で示してある。

これは従来研究で示される助走速度に対応するものであるが、本分析で得られた踏切り前重心速度は従来研究が示す助走速度に対して1〜2割程度高い結果となった。これは従来の助走速度が踏切り前の1〜数ステップにわたる平均あるいは接地中フェーズに影響されるローパスフィルタ値であったのに対して、本分析では踏切り直前ステップの離地から接地までの滞空フェーズのみの値としたためと考えられる。重心速度は接地中に減速から加速をおこない、極大値になった状態で離地となり、滞空フェーズでは空気抵抗のみのためほとんど減速しない。すなわち重心速度は滞空フェーズのみをとると1ストライドの平均値よりも高い値を示す。短距離種目の疾走速度と比較する場合ストライド全体にわたった重心速度を比べるほうがイメージがつかみやすく適当と考えられるが、棒高跳び競技において運動エネルギーの位置エネルギーへの変換という観点からみる場合、踏切り接地直前の局所的な重心速度比較のほうが獲得された運動エネルギーの大きさや、その変換率を議論でき適当と考え本分析では滞空フェーズのみの平均速度を用いた。

3列〜6列にはポールインパクト時の重心速度、ポール角度（図3）、体幹の角度（図3における身体中心部の赤セグメントが鉛直線となす角度）、グリップ-重心角度（図3：ポールエンド側のグリップ

と身体重心を結ぶ直線が鉛直線となす角度、正のとき前のめり、負のときのけぞる形となる）を示してある。イシンバエワ選手の踏切り前およびポールインパクト前重心速度が他選手よりも高いことがわかる。また体幹角度およびグリップ-重心直線の角度も最も低い値を示し他選手に比べてのけぞった形でポールインパクトをむかえていることがわかる。7列〜11列には踏切り脚が離地した際の走路先端からの位置、水平速度、鉛直速度、3次元的速度、および踏切り角度を示してある。水平速度がきわだって高いのに対して、鉛直速度が最も低く踏切り角度が非常に浅くなっていることがわかる。

図3は踏切り局面におけるポールインパクト時の重心位置を示すものである。左図はイシンバエワ選手、右図は2002年同大会における当時の日本記録保持者である小野選手のスティックピクチャーである。イシンバエワ選手のポール角度が浅いのはより高いバーへの跳躍なためポールが長く跳躍位置もボックスから遠いためである。一方、グリップ（上把手）中心から重心に向かって引いた直線が鉛直線となす角は図のようにイシンバエワ選手が $-10^\circ$ 、小野選手が $0^\circ$ であった。また体幹（各選手中央部分の背骨に相当する赤線分）が鉛直線となす角度は頭部の横に示した。イシンバエワ選手が $-11^\circ$ と傾いているのに対して小野選手は $0^\circ$ とほぼ直立していた。

## 考 察

図2において最大重心高は4.89mとバー高4.50m

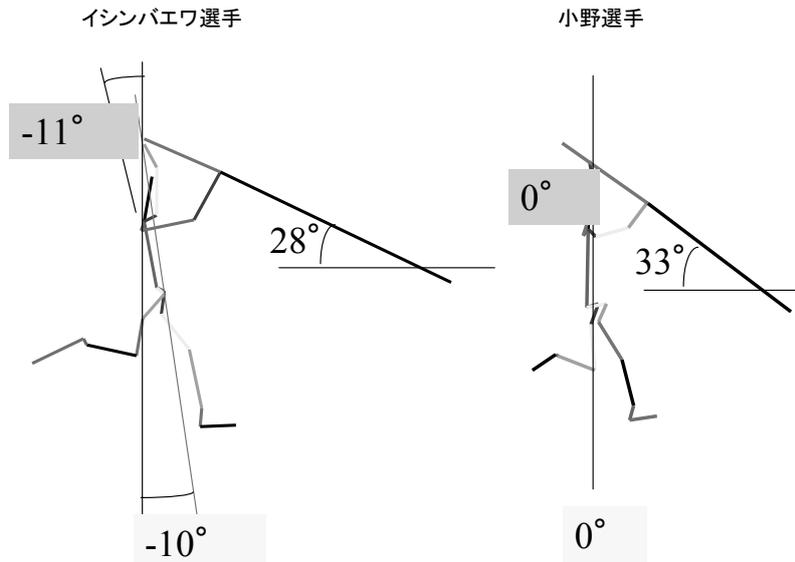


図3. 踏切局面におけるポールインパクト時の重心位置の比較。左図はイシンバエワ選手、右図は2002年スーパー陸上における小野選手のスティックピクチャー。各選手とも図下の角度はグリップ（上把手）中心からおろした鉛直線と、グリップ-重心線分がなす角度。ポール下の角度はポールと水平面のなす角。頭部横の角度は体幹（各図中央部分の背骨に相当する赤線分）が鉛直線となす角度。

に対して39cm上回っており、十分クリア可能な重心高であることがわかる。一方で、アップライトを50cmとったにもかかわらず、バー手前39cmの位置に跳躍頂点がきたことから跳躍全体を通して思ったほどには進行方向速度を獲得できなかったことが考えられる。また今回の試技ではイシンバエワ選手は第1、第2試技とも助走のみで終わってしまい踏切りをおこなうことができなかった。これにより1回だけの跳躍となってしまう、当日のコンディション（身体を含む）に合わせた微調整ができず、アップライトを合わせることができなかったことがバーをクリアできなかった原因の一つと考えられる。

表1から踏切り前後を通じてイシンバエワ選手の身体重心速度が高いことがわかる。これは従来研究が指摘する助走速度とパフォーマンスの高い相関関係と一致しており、助走速度をいかに高め、獲得された運動エネルギーを位置エネルギーに変換できるかがパフォーマンスに影響していることを示唆している。しかしながら助走速度を高めても踏切り動作ができるのか、またその運動エネルギーを位置エネルギーに効率的に変換できるかにはさまざまな技術や身体能力が必要と考えられる。

図3のポールインパクト時、ポール先端は固定され疾走してきた身体はポール後端のグリップを支点として前方に運動を続けようとする。そのためグリップ部分を運動方向へ並進移動させるとともにグリップを中心に身体重心は回転運動しようとする。その結果グリップ部分には半径方向に遠心力が

かかる。この際、半径方向がポールに近い、すなわち身体重心がグリップより前方にあり、グリップ-身体重心線分がポールの傾きに近いほどポールの長手方向の成分は大きくなると考えられる。イシンバエワ選手と小野選手を比べてみると、イシンバエワ選手のグリップ-重心線は10°傾いているのに対して小野選手は0°とほぼ直立姿勢であることがわかる。これによりイシンバエワ選手はポールのインパクト後ただちにポールの屈曲に入り、助走により得られた運動エネルギーをより直接的にポールの弾性エネルギーに変換できていると考えられる。また表3における踏切り時の踏切り角度もイシンバエワ選手は全選手の中で最も低く、運動の方向がより半径方向に近くポール長手方向に押しつぶすように働く。これにより踏切りの際の運動エネルギーをより直接的にポール屈曲に使い、弾性エネルギーに変換していることが推察される。