

走高跳における助走終盤のコース取りと踏切準備動作との関係

赤井 裕明¹⁾ 村木 有也²⁾ 阿江 通良³⁾

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. 緒言

走高跳の跳躍スタイルには、主にはさみ跳び、ベリーロール(ストラドル)、背面跳(フォスベリー・フリップ)などがあり、現在に至るまで、跳躍スタイルははさみ跳びからベリーロールへ、さらに背面跳へと変化してきた。現在の世界記録(男子, 2.45 m, J. Sotomayor, 1993; 女子, 2.09 m, S. Kostadinova, 1987)は、背面跳によって樹立されたものである。背面跳の特徴は、助走終盤において曲線上を走るという点である。背面跳が主流となった理由として、村木(1982)は曲線助走を用いることで身体の内・後傾により適切な踏切準備姿勢をとり、踏切離地時にバー方向への倒れ込みを少なくし、踏切での力のロスが少ない効率の良い跳び方であると述べている。

走高跳は大きく、助走、踏切準備、踏切、クリアランスの4局面に分けられる。背面跳は、助走前半では直線上を、後半(一般的に踏切5歩前から)では曲線上を走る。この曲線助走の効果に関して、関岡ら(1978)は直線助走を用いた背面跳およびベリーロールと曲線助走を用いた背面跳の踏切準備動作とを比較し、曲線助走をおこなうと、踏切準備局面であまり膝を屈曲せずに重心を低くすることができる、曲線上を走ると曲線の内側に体が傾き、それに伴って重心が低下する、曲線助走を用いた背面跳では踏切準備局面で助走速度が低下しなかったと報告している。またDapena(1980)は直線助走と曲線助走を用いた背面跳とを用いて比較した結果、曲線助走を用いた背面跳では踏切接地時の身体の内傾角が大きかったこと、踏切局面において身体の内傾の起こし回転による身体重心の鉛直変位が大きかったと報告している。これらのことから、曲線助走は、身体の内傾によって重心高を下げることで助走速度を維持することができると考えられる。

阿江(1992)は走高跳の踏切では、助走速度を利用してできるだけ大きな鉛直速度を得ることが課題であると述べているように、大きな跳躍高を獲得するために踏切までに大きな助走速度を得ておくことは重要である。そして、助走速度を維持して踏切に移るために、助走後半における曲線走および身体の内傾が関係していると考えられる。阿江(1986)は、曲線助走を用いた背面跳の踏切準備動作を分析し、身体重心を下げる方法として主に身体の内傾を用いるタイプと、身体の内傾と支持脚の屈曲の両方を用いるタイプがあることを明らかにした。さらに身体の内傾によって重心を下げるタイプでは、助走速度のロスを抑えることができるが、踏切1歩前支持時間が減少するため身体の後傾を大きくすることが難しくなると述べている。走高跳の背面跳に関する研究から、曲線助走の効果や踏切準備局面における身体重心の下げ方に関する知見が得られてきた。しかし、曲線助走の弧の大きさに関する研究はみられず、指導書においてもあまり述べられていない。また、踏切準備局面における曲線の弧の大きさ(コース取り)と動作の関係に着目した研究もみられない。背面跳の特徴である曲線助走において、助走コースの取り方の違いが動作に及ぼす影響は大きいと考えられ、コース取りと動作との関係について検討する必要があると考えられる。

そこで、本研究の目的は、男子走高跳選手の助走終盤のコース取りおよび踏切準備動作をバイオメカニクス的に分析し、走高跳の背面跳における効果的な助走のコース取りおよび踏切準備動作に関する示唆を得ることである。

2. 方法

2.1 VTR撮影

第5回筑波大競技会(2005.06.11)およびセイ

表1 被験者の特性

被験者名	身長 (m)	体重 (kg)	記録(m)		競技会名
			分析試技	Best	
H.A	1.79	66	2.10	2.13	筑波大競技会
Y.A	1.81	70	2.15	2.16	筑波大競技会
H.T	1.71	58	2.15	2.18	筑波大競技会
T.W	1.72	59	2.05	2.05	筑波大競技会
T.M	1.81	68	2.00	2.06	筑波大競技会
N.D	1.82	67	2.20	2.27	セイコー・スーパー陸上
I.U	1.93	82	2.23	2.30	セイコー・スーパー陸上
Y.S	1.81	66	2.10	2.16	セイコー・スーパー陸上
平均(標準偏差)	1.80 (0.07)	67 (7.39)	2.12(0.08)	2.16(0.09)	

コー・スーパー陸上 (2005. 9. 19) において、男子走高跳に出場した国内外一流および大学選手計 8 名 (身長, 1.80 ± 0.07 m; 体重, 67 ± 7.39 kg; 自己ベスト記録, 2.16 ± 0.09 m) を分析対象とした (表 1)。静止座標系は、地面と水平でかつバーと垂直に交わる軸を X 軸, 地面と水平でかつバーと平行の軸を Y 軸, 地面と鉛直な軸を Z 軸と設定した。踏切 3 歩前から踏切までの動作を、筑波大競技会では DV カメラ 2 台 (VX2000, SONY 社製) を、セイコー・スーパー陸上ではハイスピード VTR カメラ 2 台 (HSV-500C3, NAC 社製) を用い撮影した。両競技会とも、試合開始前にキャリブレーションポールを撮影範囲内の計測点に順次鉛直に立てて撮影した。なお、セイコー・スーパー陸上の VTR 画像は、日本陸連科学委員会の活動によって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、ビデオ動作解析システム (Fream-DIAS II ver. 3, DKH 社製) を用いて身体分析点 25 点を踏切 2 歩前接地 10 コマ前から踏切離地後 10 コマまで、1 コマ毎にデジタル化した。また、踏切 3 歩前接地時の支持足足先もデジタル化した。各カメラについて得られたコントロールポイントの座標値から DLT 法を用いて身体分析点の 3 次元実座標値を算出した。コントロールポイントの 3 次元実座標値と計算値との平均誤差、筑波大競技会では X 座標が 0.086 m, Y 座標が 0.045 m, Z 座標が 0.036 m, セイコー・スーパー陸上では X 座標が 0.012 m, Y 座標が 0.014 m, Z 座標が 0.016 m であった。

身体分析点の座標値は, 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, 4 次の Butterworth low-pass digital filter を用いて平滑化した。実際に用いた遮断周波数は,

筑波大競技会では X 座標 2.4 ~ 6 Hz, Y 座標 1.2 ~ 5.4 Hz, Z 座標 4.2 ~ 6 Hz, セイコー・スーパー陸上では X 座標 5 ~ 7.5 Hz, Y 座標 5 ~ 7.5 Hz, Z 座標 5 ~ 7.5 Hz あった。また, 阿江ら (1996) の身体部分慣性係数を用いて, 全身および身体各部の重心座標を算出した。

本研究では, 踏切 2 歩前 (L2), 踏切 1 歩前 (L1), 踏切 (T) の接地 (on) および離地時 (off) を基準に 7 つの局面に分けて分析を行った。

2.4 算出項目と算出方法

身体分析点および重心の座標値をもとに, 以下に示す項目を算出した。また身体の傾き角 (内・後傾角) を算出するため, 1 コマ毎に身体重心水平速度ベクトル (X と Y 成分の合成) を X' 軸, 地面と水平でかつ X' 軸に直交する軸を Y' 軸とし, 分析試技ごとに身体座標系を定義した。

①踏切離地時重心高 (H_1): 踏切足離地時における身体重心高。表 2

②重心上昇高 (H_2): 踏切足離地後から重心が上昇した高さで, 以下の式から算出した

$$H_2 = V_v^2 / 2g \quad (g = 9.8 \text{ m/s}^2)$$

ここで, V_v は踏切足離地時の鉛直重心速度である。表 2

③最大重心高 (H_{\max}): 重心の最高到達点なので, H_1 と H_2 の和。表 2

④クリアランス高 (H_3): バーの高さと H_{\max} との差

⑤助走足跡: 各歩の支持足足先の接地位置

⑥足跡の方位角 (θ): 各歩の支持足爪先間を結んだ線分と Y 軸とのなす角度

⑦ストライド (L): 各歩間の支持足つま先の水平距離

⑧曲率半径: ある歩から次の歩に移る際の曲がりの程度を表す, 以下の式によって算出した。

表2 跳躍高に関するパラメーター

被験者名	分析試技 (m)	Hmax (m)	H1 (m)	H1/身長 (%)	H2 (m)	H3 (m)
H.A	2.10	2.19	1.25	70.05	0.93	0.09
Y.A	2.15	2.20	1.26	69.86	0.94	0.05
H.T	2.15	2.24	1.19	69.71	1.05	0.09
T.W	2.05	2.07	1.19	69.38	0.88	0.02
T.M	2.00	2.09	1.22	67.14	0.88	0.09
N.D	2.20	2.35	1.23	67.77	1.11	0.15
I.U	2.23	2.33	1.35	69.77	0.99	0.10
Y.S	2.10	2.24	1.26	69.56	0.98	0.14
平均(標準偏差)	2.12 (0.08)	2.21 (0.10)	1.24 (0.05)	69.15 (1.08)	0.97 (0.08)	0.09 (0.04)

曲率半径 = $L_i / (\theta_{i-1} - \theta_i)$ ($i = 2, 1$)

ここで、 i は踏切前の歩数を示している ($i = 0$ の時は踏切)。

⑨傾き角：各歩の接地および離地時において、重心線、支持脚および体幹がZ軸となす角度。重心は重心線と支持脚足関節、支持脚は支持脚股関節と足関節、体幹は胸骨上縁と両股関節の midpoint とを結ぶ線分とした。

⑩内傾角：重心水平速度ベクトルに対して後方 (Y' Z 平面) からみた傾き角。正は内傾、負は外傾していることを示す

⑪後傾角：重心水平速度ベクトルに対して側方 (X' Z 平面) からみた傾き角。正は後傾、負は前傾していることを示している。なお、重心および支持脚は、いずれの歩においても離地時には前傾していることから、接地時のみ示した。

⑫肩および腰のひねり角：重心水平速度ベクトルと両肩および両股関節を結ぶ線分と Y' 軸とのなす角度

3. 結果および考察

3.1 助走終盤のコース取りと助走速度との関係

図1および図2は、被験者の足跡と重心水平速度の変化を、表3は各歩における曲率半径を示したものである。重心水平速度は助走において獲得されるが、走高跳の背面跳の助走終盤においては曲線上を走るため、助走のコース取りによって助走速度の大きさも影響を受けると考えられる。このとき足跡をみると、H.Aは最も外側を、Y.Sは最も内側を通過していた(図1)。一方、2歩平均の曲率半径は、H.A, Y.Sともに平均値よりも小さいものであった(表3)。このことから、バーに対する各歩の接地位置と助走曲線の大きさには関係がないと考えられる。各歩の

曲率半径に着目すると、いずれの被験者においても踏切2歩前に比べ1歩前では小さくなり、標準偏差も小さかった。踏切2歩前の曲率半径は、日本上位選手(N.D)および外国人選手(I.U)が他の選手に比べて大きかったことから、助走のコース取りには、踏切2歩前の曲率半径が20m以上と大きい被験者(N.D, I.U)と、14m以下の小さい被験者(その他の被験者)の大きく2つに分けることができると考えられる。運動の方向を変えるためには、支持期において目的とする方向とは反対方向に地面を蹴るが、曲線が急であるほど助走速度の維持が難しくなると考えられる。2歩平均の曲率半径の大きいN.Dは、踏切1歩前から踏切にかけての重心水平速度の減速が小さく、曲率半径の小さなH.Tは減速が大きかったことから、曲がりの急な助走は踏切準備局面における助走速度の大きさに影響をおよぼすと考えられる。

3.2 助走のコース取りと踏切1歩前における身体の内傾との関係

身体重心高とパフォーマンスとの関係について、Hay(1985)は踏切接地時の身体重心が低ければ低いほどパフォーマンスが高いと報告している。このことから、走高跳において跳躍高を増すためには、踏切接地時までには重心を低くしておく必要があると考えられる。曲線助走を用いる背面跳の踏切準備局面において、重心を下げる方法として身体の内傾を用いるタイプと、身体の内傾と支持脚の屈曲の両方を用いるタイプがあると報告されている(阿江, 1986)。また、身体の内傾は、曲線上を走ることによって発生する遠心力に抗するために必要となる。これらことから、身体の内傾は、身体重心を低くする、助走終盤における遠心力に抗するという2つの役割があると考えられる。

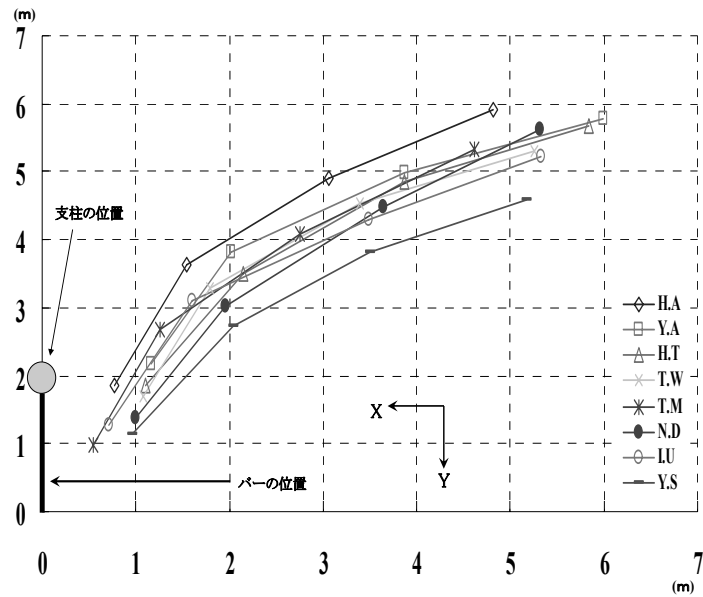


図1 踏切3歩前から踏切における足跡

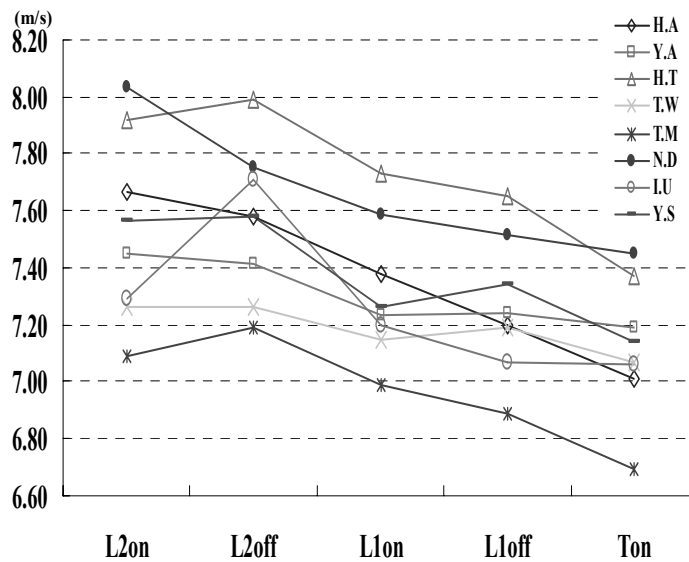


図2 踏切2歩前から踏切における重心水平速度

図3は各被験者における内傾角の変化を示したものである。踏切1歩前接地時では、踏切2歩前の曲率半径が大きい被験者（N.D, I.U）は支持脚の内傾が小さく、2歩前の曲率半径が小さい被験者（H.A, Y.A, H.T, T.W）は支持脚の内傾が大きくなっていった。また、支持脚の内傾が小さく（大きく）ければ、重心の内傾は小さく（大きく）なるというように、重心の内

傾に対する支持脚の内傾の影響は大きかった。

次に、踏切1歩前離地時では、2歩前の曲率半径が大きい被験者は1歩前接地時と比べて支持脚の内傾が大きく、体幹の内傾が小さくなっていった。一方、踏切2歩前の

曲率半径が小さい被験者は、1歩前接地時と比べて1歩前離地時の支持脚の内傾は小さく、体幹の内

表3 踏切2歩前および1歩前における曲率半径 (m)

	H.A	Y.A	H.T	T.W	T.M	N.D	I.U	Y.S	平均	標準偏差
2歩平均	7.57	6.21	7.05	5.55	8.98	13.93	13.20	7.06	8.69	3.17
2歩前	10.65	8.39	9.27	7.21	13.66	22.15	22.76	8.21	12.79	6.28
1歩前	4.48	4.02	4.83	3.88	4.29	5.71	3.64	5.90	4.59	0.83

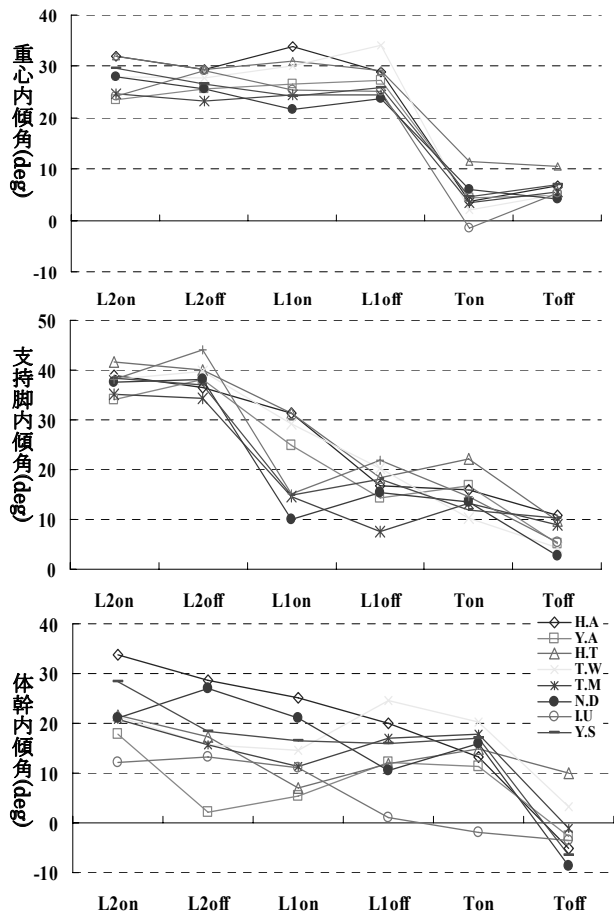


図3 踏切2歩前から踏切における重心、支持脚および体幹の内傾角の変化

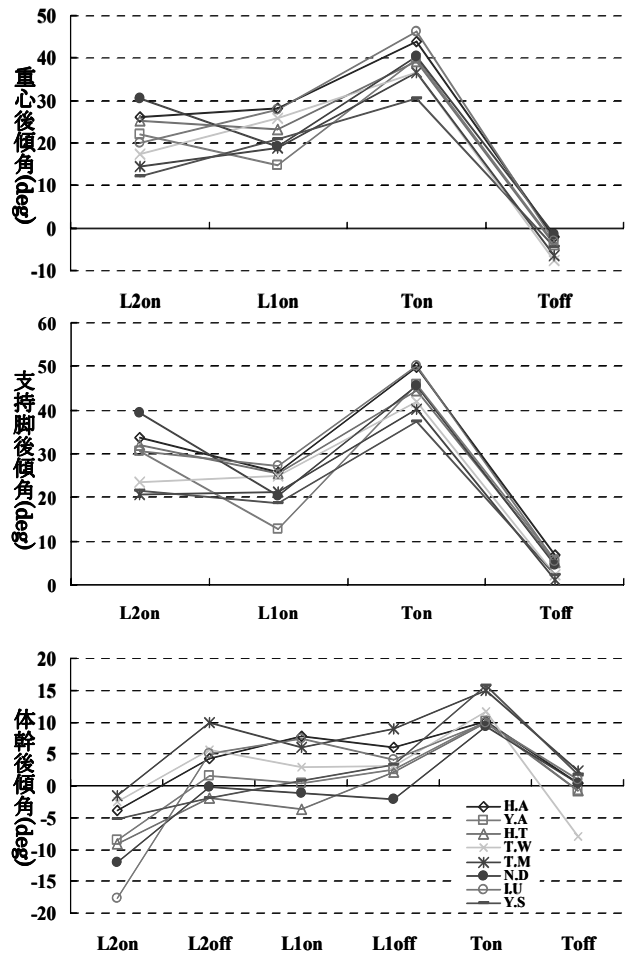


図5 踏切2歩前接地から踏切離地における後傾角の変化

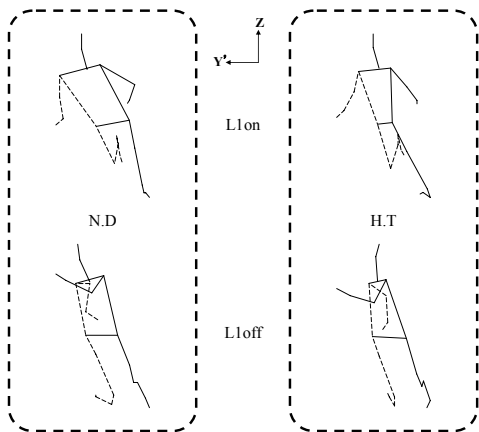


図4 踏切1歩前接地および離地における被験者N.DとH.Tのフォーム

傾は大きくなっていった。

図4は踏切1歩前接地および離地時における踏切2歩前の曲率半径が大きかったN.Dと逆に小さかったH.Tのフォームを示したものである。N.DとH.Tを比較してみると(図4)、N.Dでは踏切1歩前接地時よりも離地時の方が支持脚の内傾が大きくなっていったが、H.Tでは1歩前離地時には支持脚は外傾し

ていたことから、踏切2歩前の曲率半径の小さな被験者では、助走終盤では支持脚が曲線の外へと振られてしまい、一方で小さくなってしまいう重心の内傾を保つために体幹の内傾を大きくして遠心力に抗していたと考えられる。

これらのことから、2歩前の曲率半径の大きい被験者は重心の内傾は小さく、2歩前の曲率半径の小さい被験者は重心の内傾が大きくなると考えられる。また、踏切1歩前接地時から離地時にかけて、支持脚が外傾しないように、2歩前の曲率半径が大きくなるようなコース取りをすることが助走速度の減速を大きくしないために有効だと考えられる。

3.3 助走のコース取りと踏切1歩前における身体の後傾との関係

図5は、踏切2歩前から踏切における身体の後傾角の変化を示したものである。踏切2歩前接地時では支持脚は後傾していた。踏切1歩前接地時では、支持脚の後傾が大きい被験者(H.A, H.T, T.W, T.M, I.U)は、体幹および重心の後傾が大きく、支持脚

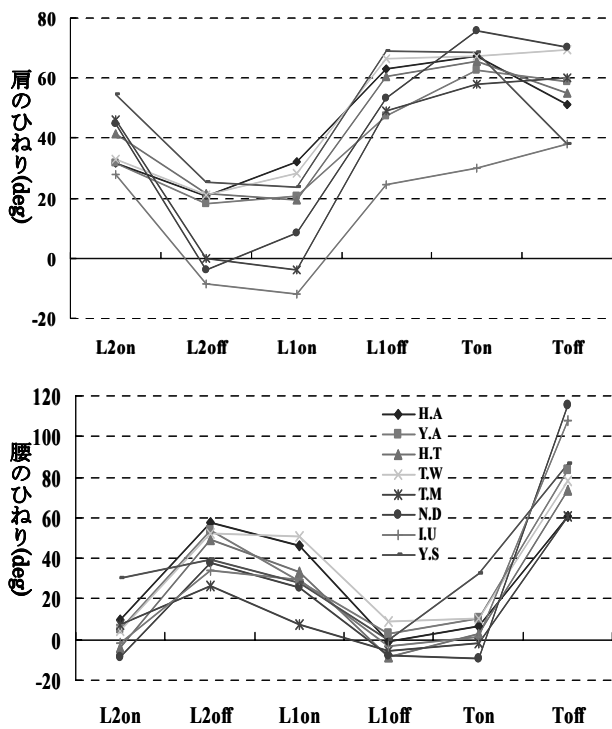


図6 踏切2歩前接地から踏切における肩および腰のひねり角の変化

の後傾が小さい被験者 (Y.A, N.D, Y.S) は体幹および重心の後傾が小さくなる傾向がみられた。しかし、踏切2歩前接地時の支持脚の後傾が大きい被験者群、小さい被験者群のどちらにも、踏切2歩前の曲率半径が大きい被験者と小さい被験者が含まれることから、助走のコース取りと踏切2歩前における身体の後傾には関係がないと考えられる。

踏切1歩前における重心の後傾の変化には、2つのパターンがみられた。1つは踏切2歩前に比べ踏切1歩前接地時に後傾が小さくなるパターンで、もう一方は、大きくなるパターンである(図5)。踏切2歩前に比べ、踏切1歩前接地時における重心の後傾が小さいと水平重心速度の減少は小さく、逆に重心の後傾が大きくなると水平重心速度の減少が大きくなるという傾向がみられた。また、体幹の後傾では、被験者H.A, H.T, T.Mは踏切1歩前接地から離地にかけて体幹の後傾が大きくなっており、重心水平速度の減少も大きかった。踏切1歩前における助走速度の減速には、重心の後傾の影響が考えられる。踏切では身体の起こし回転を利用するために、踏切接地時の身体の後傾を大きくすることは有効であると考えられる。しかし、踏切1歩前支持期、またはそれ以前から重心および体幹の後傾が始まっている被験者では、重心水平速度の減少が大きい傾向にあった。このことから、踏切1歩前離地時まで体

幹はほぼ垂直に保ち、踏切に移行する間に素早く後傾することが助走速度の減速を小さくするために有効であると考えられる。

図6は、踏切2歩前から踏切における肩および腰のひねり角の変化を示したものである。踏切2歩前の曲率半径が大きい被験者(N.D, I.U)は、踏切1歩前において肩および腰のひねりが小さかったが、2歩前の曲率半径が小さい被験者(H.A, Y.A, H.T, T.W, Y.S)では肩および腰のひねりは大きかった。踏切2歩前の曲率半径が小さい場合は、遠心力で身体が外傾するのを防ぐために、肩と腰を内傾する方向に向けて内傾姿勢を取りやすくしていたのではないかと考えられる。これは図3に示したように、踏切2歩前の曲率半径の小さい被験者は重心の内傾が大きくなる傾向にあることから、踏切1歩前における肩および腰のひねりは重心の内傾を大きくするための動作であったと考えられる。また、肩および腰のひねりは、踏切2歩前の曲率半径が大きい被験者で小さく、2歩前の曲率半径が小さい被験者では大きいという傾向がみられたことから、助走コースによって肩および腰のひねりを調整していると考えられる。したがって、助走中の弧の大きさ見るためには、曲線助走中の肩および腰のひねりを見るのが有効である。

4. まとめ

- ① 踏切2歩前の曲率半径の大きいものは、踏切1歩前での重心水平速度の減少が小さく、曲率半径の小さいものは重心水平速度の減少が大きかった。
 - ② 2歩前の曲率半径の大きいものでは重心の内傾は小さく、2歩前の曲率半径の小さいものは、重心の内傾が大きく、踏切1歩前接地から離地にかけて支持脚が外傾する傾向にあった。
 - ③ 重心の後傾が小さいと、水平重心速度の減少は小さい。踏切1歩前支持期、またはそれ以前から重心および体幹の後傾が始まっているものでは重心水平速度の減少が大きかった。
 - ④ 2歩前の曲率半径が大きいものは、肩および腰のひねりが小さかった。一方、肩および腰のひねりが大きかったものは、重心の内傾が大きかった。
- 以上のことから、走高跳の背面跳における効果的な助走コース取りおよび踏切準備動作に関して、以下のような示唆が引き出せるであろう。
- ① 大きな助走速度獲得には、曲率半径の大きなコース取りを行うことが有効である。
 - ② 踏切1歩前離地時に支持脚の外傾を防ぐため

には、2歩前の曲率半径を大きくすることが有効である。

③ 踏切1歩前支持期では、体幹を垂直に保ち、踏切1歩前離地後に身体を後傾することが有効である。

参考文献

- Ae, M., Sakatani, Y., Yokoi, T., Hashihara, Y., Shibukawa, K. (1986) Biomechanical analysis of the preparatory motion for takeoff in the Fosbury flop. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2, pp 66-77.
- 阿江通良 (1992) 陸上競技のバイオメカニクス. 日本陸上競技連盟編, 陸上競技指導教本, 大修館: pp 33-53.
- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 15 (3), pp 155-162.
- 阿江通良, 戸谷直喜, 富樫時子, 森丘保典, 飯干明, 結城匡啓 (1997) アジア大会における走高跳のバイオメカニクスの分析. アジア一流陸上競技者の技術, (第12回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究班報告), 財団法人日本陸上競技連盟, pp 113-135
- Dapena, J (1980a) Mechanics of translation in the Fosbury-flop. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12, pp 37-44.
- Dapena, J (1980a) Mechanics of translation in the Fosbury-flop. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 12, pp 45-53.
- Hay, J. G. (1973) A kinematic look at the high jump. *Track Technique*, 53, pp 1697-1703.
- Hay, J. G. (1985) *The biomechanics of sports techniques third edition*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- 飯干明, 阿江通良, 結城匡啓, 高松潤二, 長沢光雄, 湯海鵬 (1994) 走高跳のバイオメカニクスの分析. 世界一流競技者の技術, ベースボールマガジン社, pp 169-184.
- 村木征人 (1982) 陸上競技(フィールド), 現代スポーツコーチ実践講座2 ぎょうせい.
- Wells, R. P., Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion*, I, pp 92-93