

男子一流 110m ハードル選手の踏切および踏切準備動作に関する バイオメカニクスの分析

大橋祐二¹⁾ 横澤俊治²⁾ 門野洋介³⁾ 藤井範久²⁾ 阿江通良²⁾

1) 筑波大学体育専門学群 2) 筑波大学 3) 筑波大学大学院

1. 目的

陸上競技の110mハードル(以下,110mH)において,速度低下区間の一流選手の動作に着目したバイオメカニクスの研究は少ない.本報告では,世界および日本一流110mH選手の速度低下区間における踏切(以下,4歩目)および踏切一步前(以下,3歩目)の動作の特徴を明らかにすることを目的とした.

2. 方法

2.1 撮影

国内公認競技会の110mHに出場した選手の中から,世界記録保持者,日本記録保持者を含む5名を分析対象とした(表1).分析対象者が出場した2005IAAF大阪グランプリ陸上,第89回日本陸上競技選手権を撮影した(表2).

110mHレースにおける6~7台目ハードル間を疾走する選手を,2台の高速度VTRカメラ(NAC社製HSV-500,毎秒200コマ,露光時間1/2000秒)で撮影した.2台のカメラのVTR画像内の身体計測点とコントロールポイントの2次元座標から,DLT法

により3次元座標を算出した.その後,3次元座標値を矢状面内の2次元座標値に変換して分析に用いた.

2.2 分析項目

身体計測点の3次元座標から阿江(1996)の身体部分慣性係数を用いて,身体部分および全身の重心位置座標を算出した.身体重心の水平(V_x),鉛直(V_y)速度成分から逆正接を求めることで踏込角度および踏切角度を算出した.図1は本報告で用いた関節および身体部分の角度の定義を示したものである.

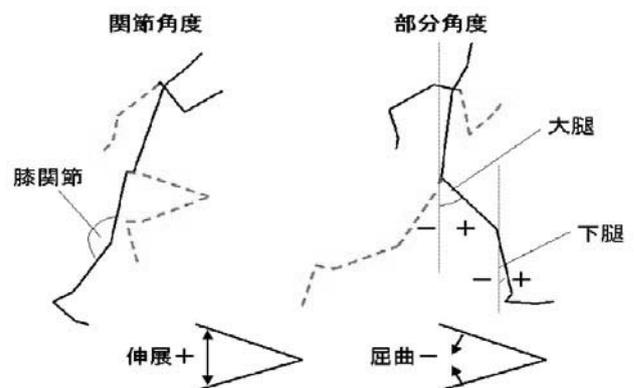


図1 関節および部分角度の定義

表1 分析対象者の特性

名前	身長(m)	体重(kg)	分析レース記録(s)	自己記録(s)	達成率(%)	分析レース	備考
劉 翔	1.89	82	13.12	12.91	98.4	大阪GP	世界記録保持者,アテネ五輪1位
内藤真人	1.85	75	13.69	13.47	98.4	日本CH準決	'05日本選手権1位
谷川 聡	1.85	78	13.80	13.39	97.0	日本CH準決	日本記録保持者,'05日本選手権1位
田野中輔	1.85	79	13.75	13.63	99.1	日本CH決勝	'04日本選手権1位
大橋祐二	1.85	73	13.69	13.57	99.1	日本CH準決	'05日本選手権4位

表2 VTR撮影の対象とした競技会

競技会	ラウンド	日付	場所
2005ヤマザキ国際グランプリ陸上大阪大会	決勝	2005.5.7	長居陸上競技場
第89回日本陸上競技選手権大会	準決勝	2005.6.3	国立競技場
第89回日本陸上競技選手権大会	決勝	2005.6.4	国立競技場

表3 所要時間（接地時間・空中時間），ストライド

		1歩目	2歩目	3歩目	4歩目	合計
劉	接地時間(s)	0.070	0.105	0.100	0.105	0.380
	空中時間(s)	0.075	0.110	0.065	0.375	0.625
	所要時間(s)	0.145	0.215	0.165	0.480	1.005
	ストライド(m)	1.55	1.94	1.75	3.91	
内藤	接地時間(s)	0.070	0.115	0.105	0.100	0.390
	空中時間(s)	0.080	0.120	0.105	0.360	0.665
	所要時間(s)	0.150	0.235	0.210	0.460	1.055
	ストライド(m)	1.49	2.00	1.92	3.61	
谷川	接地時間(s)	0.095	0.130	0.120	0.125	0.470
	空中時間(s)	0.060	0.110	0.080	0.355	0.605
	所要時間(s)	0.155	0.240	0.200	0.480	1.075
	ストライド(m)	1.60	2.01	1.80	3.65	
田野中	接地時間(s)	0.075	0.125	0.110	0.125	0.435
	空中時間(s)	0.065	0.120	0.080	0.370	0.635
	所要時間(s)	0.140	0.245	0.190	0.495	1.070
	ストライド(m)	1.45	2.12	1.92	3.77	
大橋	接地時間(s)	0.090	0.115	0.105	0.115	0.425
	空中時間(s)	0.065	0.120	0.090	0.375	0.650
	所要時間(s)	0.155	0.235	0.195	0.490	1.075
	ストライド(m)	1.48	1.93	2.00	3.72	

さらに，得られた角度を数値微分することによって，角速度を算出した．また，大転子と外果を結んだ線分と，鉛直方向とのなす角度を数値微分することによって，脚スウィング角速度を算出した．

3. 結果および考察

3.1 キネマティクスのデータ

表3は，第6インターバルにおける各ステップの所要時間とストライドを示したものである．所要時間については，接地時間と空中時間に分けて示した．

表4は，3歩目，4歩目における踏込角度と踏切角度を示したものである．水平方向を基準に，上向きを正，下向きを負とした．

表5は，3歩目，4歩目における接地時，離地時

の重心鉛直方向速度を示したものである．

図2は，第6インターバルの3歩目支持期前半および後半，3歩目滞空期，4歩目支持期前半および後半における身体重心の平均水平速度を示したものである．

図3および図4は，3歩目支持期における下肢キネマティクスを示したものである．

3.2 劉選手の動作の特徴

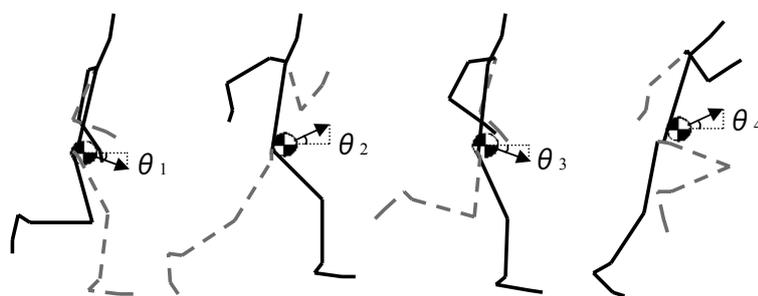
劉選手は4歩目接地時間が0.105sであり，

分析対象者中最短である内藤選手（0.100s）に次いで短かった（表3）．

劉選手は，3歩目支持期において支持脚膝関節を伸展し続け，支持脚大腿の角速度を大きくすることにより，高い疾走速度を保ったまま踏切に移行していた．また，日本人選手に比べて3歩目空中時間が短く，3歩目ストライドが小さかった（図3および図4）．さらに，3歩目の踏切角度および4歩目の踏込角度が小さく，4歩目接地時の鉛直下向きの速度も小さかった．これらの結果は，劉選手が3歩目支持期から滞空期にかけて，前方へ素早く移動し，小さな踏込角度で踏切に移行していたことを示している（表4および表5）．

劉選手の4歩目（踏切）における支持脚の動作の特徴として，膝関節の素早い屈伸が挙げられる（図5上段）．また，支持期前半には，下腿の前傾角速度が大きくし，支持期後半には，大腿の前傾角速度を大きくしていた（図6）．すなわち，支持期前半の下腿の素早い前傾が膝関節屈曲を引き起こし，支持期後半の大腿の素早い前傾が膝関節伸展を引き起こしており，膝関節屈伸が脚スウィング角速度に貢

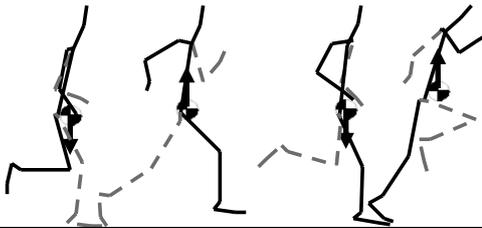
表4 3歩目，4歩目における踏込角度と踏切角度



	3歩目接地時	3歩目離地時	4歩目接地時	4歩目離地時
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
劉	-2.9	2.5	-0.9	14.4
内藤	-3.8	5.3	-2.0	15.1
谷川	-4.7	2.6	-1.4	14.1
田野中	-3.5	3.4	-2.1	13.6
大橋	-2.6	2.6	-1.5	13.8

単位：deg

表5 3歩目, 4歩目における接地時, 離地時の重心鉛直方向速度



	3歩目		4歩目	
	接地時	離地時	接地時	離地時
劉	-0.49	0.43	-0.16	2.33
内藤	-0.59	0.82	-0.32	2.27
谷川	-0.72	0.40	-0.22	2.12
田野中	-0.55	0.53	-0.33	2.00
大橋	-0.40	0.41	-0.23	2.07

単位 : m/s

献する動作であったと考えられる。森田ら(1994)は、スプリントハードルを分析し、踏切脚の膝を伸展せずに脚を後方に素早くスウィングさせる「引っかき型」は、「屈伸型」に比べて大腿の後方へのスウィングをより効率よく身体の前進速度に変換すると述べている。しかし劉選手のような「屈伸型」であっても、支持期前半の下腿の素早い前傾と、支持期後半の下腿の後傾を伴わない大腿の素早い前傾動作を行うことで、効率的な踏切が可能だと考えられる。

劉選手の4歩目ストライド(ハードリング距離)は3.91m, 4歩目空中時間(ハードリングタイム)は0.375sであり、ともに日本人選手に比べて大きかった。森田ら(1994)は、第3回世界選手権における110mHの優勝者(13.06s)と2位の選手(13.06s)の第7ハードルのハードリング距離を、それぞれ3.75m, 3.58mと報告している。McDonald and Dapena(1991)は、1988年アメリカオリンピック

クトライアルの110mHに出場した23名(13.46 ± 0.25s)の第5ハードルを分析し、ハードリング距離を3.62 ± 0.13mと報告している。磯ら(2002)は、スーパー陸上2000横浜において、シドニーオリンピック優勝者(13.12s)の第7ハードルのハードリング距離を3.70mと報告している。これらの報告における分析対象者のほとんどは欧米の選手であり、劉選手の4歩目ストライドは、世界一流の欧米選手と比べても非常に大きいといえる。劉選手は4歩目支持期において、離地まで支持脚大腿を後方へ素早くスウィングしていたため(図5中段, 図6上段)、離地後に大腿が後方へ流れていた可能性があるが、空中時間が長かったことから、脚を前方に移動させるのに十分な時間があつたと考えられる。よって、劉選手の4歩目支持脚大腿の動作は、身体を大きく前方に進め、大きなハードリング距離を獲得するために有効な動作であったと

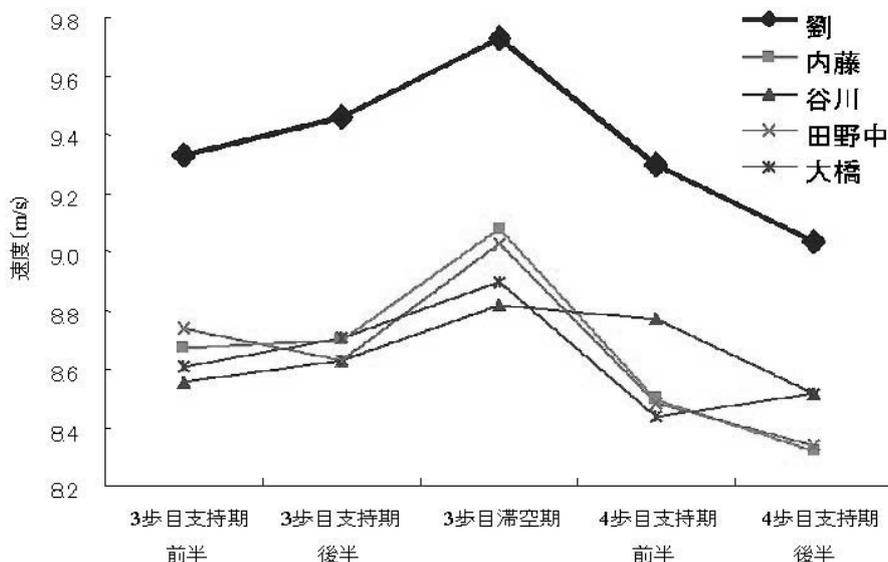


図2 各局面における平均重心水平速度

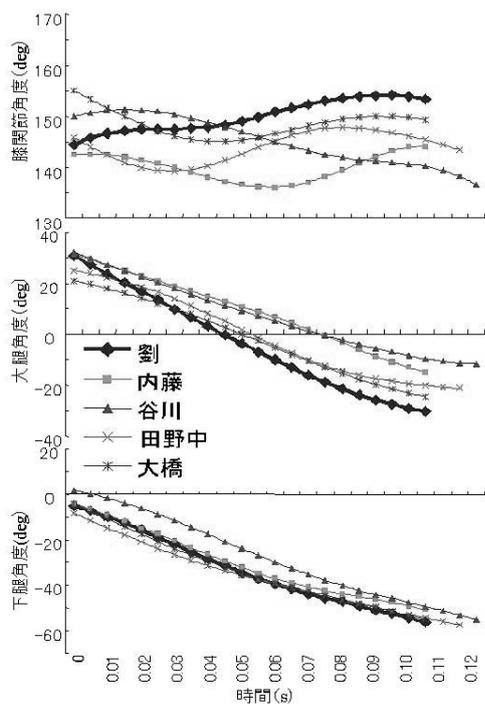


図3 3歩目支持期における膝関節，
大腿および下腿角度

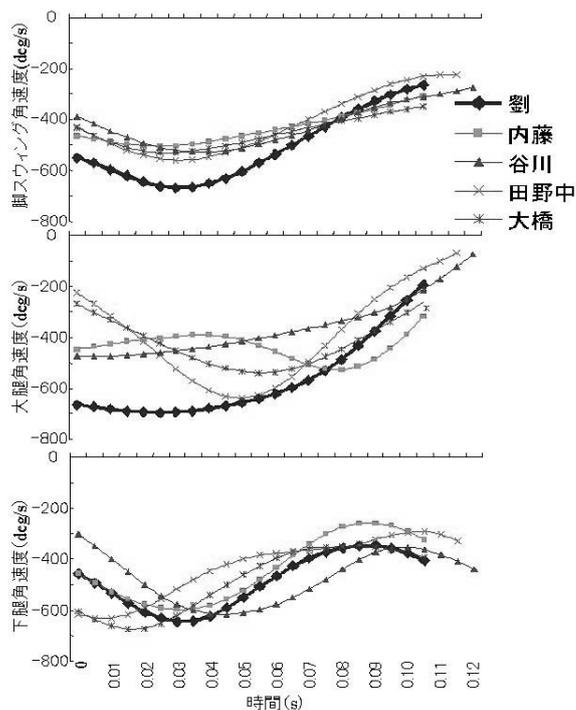


図4 3歩目支持期における脚スウィング，
大腿および下腿角速度

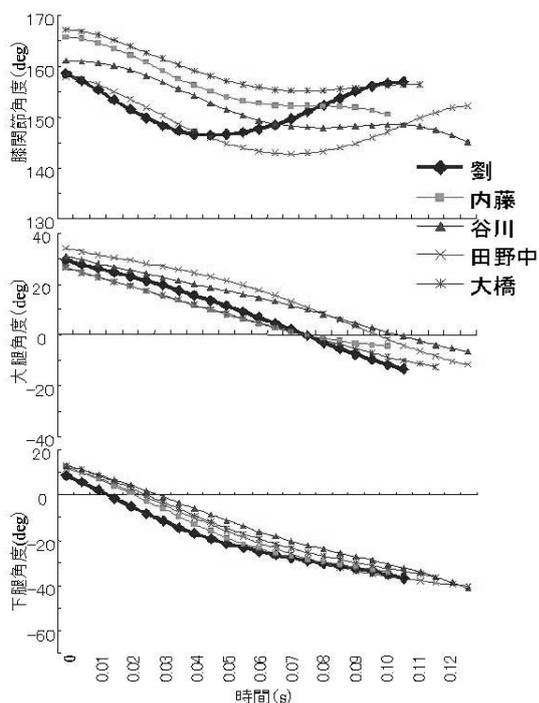


図5 4歩目支持期における膝関節，
大腿および下腿角度

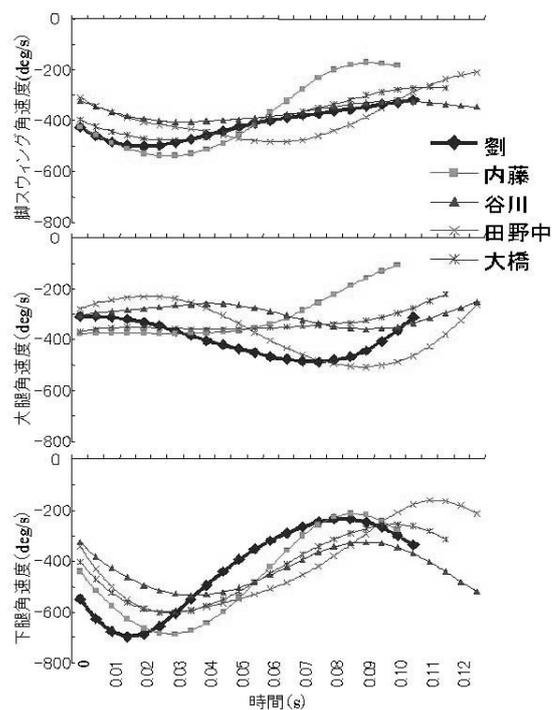


図6 4歩目支持期における脚スウィング，
大腿および下腿角速度

考えられる。

これらのことから、4歩目の支持脚大腿を後方へ素早くスウィングさせることにより身体を前方に進め、ハードリング距離を大きくすることが、欧米人に比べ体格で劣るアジア人が13秒前後の記録を出すための一つの手段かもしれない。

3. 日本人選手の動作の特徴と課題

(1) 内藤選手

内藤選手は、1インターバル間の接地時間の合計が劉選手に次いで短く、空中時間の合計は分析対象者の中で最も大きかった。3歩目についても、接地

時間は劉選手に次いで短く、空中時間は分析対象者の中で最も大きかった(表3)。また、3歩目離地時の重心鉛直上向き速度および4歩目接地時の下向き速度が大きく、劉選手とは対照的な結果であった(表5)。

内藤選手の4歩目支持脚については、支持期前半では脚スウィング角速度が大きかったが、その後、支持期後半に大腿角速度および脚スウィング角速度が著しく減少した(図6上段および下段)。このことから、内藤選手は支持期前半に脚全体を大きく後ろへ運び、支持期後半では、抜き脚として前方へ運ぼうとする動作に移行していたと考えられる。

(2) 谷川選手

谷川選手は、3歩目離地時の重心鉛直上向き速度が、分析対象者の中で最も小さかった(表5)。したがって、踏切一步前において鉛直方向速度を小さくし、踏切時間を短くするための準備を行っていたと考えられる。

谷川選手の4歩目支持脚の脚スウィング角速度は、支持期を通じてほぼ一定の値であった(図6下段)。また膝関節は、支持期前半に屈曲していたが、その後はその角度を維持していた(図5)。これらのことから、脚全体を一本の棒のようにして、身体を支持しながら起こすだけの踏切脚の動作となっていたと考えられる。このような踏切動作は、Piasentaが提唱したGriffe動作(串間ら, 1987)のように、膝を伸ばして脚全体を後方へ引き込む動作に近く、短時間での踏切には適していると考えられる。

(3) 田野中選手

田野中選手については、4歩目接地時間が長く(表3)、劉選手と同様に4歩目支持脚の膝関節が屈伸する特徴がみられた(図5)。また、接地後に大腿角速度が減少し、脚スウィング角速度の増減は、膝関節角度の増減と同期していた(図5および図6)。同じように膝関節の屈伸がみられた劉選手に比べ、脚スウィング角速度のピーク値の出現が、膝関節角度の最小値出現より遅く、離地時の脚スウィング角速度も小さかった。

(4) 大橋選手

大橋選手は、3歩目支持期前半から後半の平均重心水平速度増加量が、日本人選手の中で最も大きかった(図2)。また、3歩目離地時の脚スウィング角速度が大きく(図4)、分析対象者の中で唯一、2

歩目より3歩目のストライドが大きかった(表3)。これらのことから、大橋選手は3歩目に踏切準備よりも疾走速度を増加させることを優先していたと考えられる。

4歩目支持期においては、大橋選手の支持脚の脚スウィング角速度変化パターンは劉選手と類似していたが(図6)、平均重心水平速度には大きな差がみられた(図2)。大橋選手は、劉選手よりも接地直後の下腿角速度および支持期後半の大腿角速度が小さかった。上で述べたように、劉選手は大腿の後方への素早いスウィングにより、大きな重心水平速度を得ていたが、大橋選手は支持期後半の大腿角速度が小さいため、劉選手と類似した支持脚スウィング角速度変化パターンであっても、重心水平速度は小さかったと考えられる。

参考文献

- 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. Jpn J Sports Sci15(3), 155-162.
- 磯 繁雄, 榎本靖士, 中田和寿, 羽田雄一, 阿江通良(2002) 一流110mハードル選手のインターバル走に関するキネマティクスの研究, 陸上競技研究36, 50-54.
- 串間敦郎, 関岡康雄(1987) ハードル走の踏切技術に関する一考察—グリーフ動作の有効性について—, 日本体育学会第38回大会号A, 389.
- McDonald, C. and Dapena, J. (1991) Linear kinematics of the men's 110-m and women's 100-m hurdles races. *Medicine and science in sports and exercise* 23, 1382-1391.
- 森田正利, 伊藤 章, 沼澤秀雄, 小木曾一之, 安井年文(1994) スプリントハードル(110mH・100mH)および男女400mHのレース分析, 佐々木秀幸ほか監修 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編 世界一流陸上競技者の技術, ベースボールマガジン社:東京, 66-87.