

110m ハードル走に関するキネマティクスの研究

柴山一仁¹⁾ 藤井範久²⁾ 阿江通良²⁾ 伊藤 章³⁾ 貴嶋孝太³⁾ 門野洋介¹⁾ 大島雄治¹⁾
1) 筑波大学大学院 2) 筑波大学 3) 大阪体育大学

1. はじめに

陸上競技の110mハードル走(以下110mH走と表記)で高いパフォーマンスを発揮するためには, 大きな水平疾走速度の獲得だけでなく, ハードルを効率よく越えるためのインターバル走とハードリングの技術が必要である. しかし, インターバルの距離(9.14m)とハードルの高さ(1.067m)が決まっているために, インターバル走動作およびハードリング動作は, 選手の身体的特性, 特に身長によって, 大きく影響を受けると考えられる.

110mH走の1サイクル走動作に関する相関分析を扱った研究として, 伊藤ら(1997)の大学男子選手9名を対象にした研究がある. 伊藤らはハードル走速度と相関関係が認められた動作項目として, ①踏切における支持期前半の身体重心の減速量, ②踏切前における踏切脚大腿の角速度, ③ハードリング後の着地脚の振り戻し角速度, ④着地脚接地時の膝関節角度, ⑤支持期における支持脚最大後方スイング速度, などを挙げている.

本報告では, 2007年に開催された公認陸上競技会における国内外男子一流110mH走選手, および学生選手の6-7台目ハードルの1サイクル区間におけるキネマティクスの特徴について, 身長を考慮した報告を行う.

2. 方法

2.1 データ収集

表1に示した競技会における110mHレースに参加した男子選手20名を分析対象者とした(表2). 分析対象者は, 当該競技会での記録が2007年度のシーズンベスト記録に対して98%以上を達成したものとした.

110mHレース中の6台目ハードルのリード脚接

地(1-on)から7台目ハードルの踏切脚の接地(4-on)まで(以下DV撮影区間)をデジタルVTRカメラ(DCR-VX2000またはHDR-FX1, SONY社製, 撮影スピード毎秒60コマ, 露出時間1/1000秒~1/2000秒)を用いて2次元撮影を行った. 7台目ハードルの踏切脚の接地からリード脚の接地(5-on)まで(以下HSV撮影区間)を2台の高速度VTRカメラ(HSV-500C3, NAC社製, 撮影スピード毎秒250コマ, 露出時間1/1000秒またはPhantom V4.3, 撮影スピード毎秒200コマ, 露出時間1/600秒~1/5000秒, Nobby Tech社製)を用いて3次元撮影を行った.

2.2 データ処理

(1) 2次元座標

DV撮影区間を対象に, 撮影したVTR画像から選手の身体計測点と校正マークを動作分析装置(Frame-DIAS II, DKH社製)を用いてデジタル化し, 得られた身体の2次元座標を校正マークをもとに実座標に換算した.

(2) 3次元座標

HSV撮影区間を対象に, 撮影したVTR画像から選手の身体計測点を動作分析装置(Frame-DIAS II, DKH社製)を用い2コマごとにデジタル化した. 2つのVTR画像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次元実座標を算出した. さらに矢状面の2次元座標に変換後, DV撮影区間の2次元座標と統合し分析を行った.

(3) 平滑化

得られた座標値は, バタワース型デジタルフィルタを用いて平滑化した. このときの遮断周波数は, 分析点の座標成分ごとに決定した(DV撮影区間; 3.6~8.4Hz, HSV撮影区間; 5~13.75Hz).

2.3 局面分け

ハードリング後の接地を1-onとして, 図1に示す

ような動作時点と局面を定義した。

表1 VTR撮影の対象とした競技会

競技会名	日付	分析対象者数
第3回筑波大学陸上競技会	2007.4.28	2
2007 国際グランプリ陸上大阪大会*	2007.5.5	3
第91回日本陸上競技選手権大会*	2007.6.29-30	8
第11回世界陸上競技選手権大会*	2007.8.29-31	7

*日本陸上競技連盟科学委員会バイオメカニクス班の活動の一環として撮影した競技会

表2 分析対象者の特性

	平均±標準偏差	最大値-最小値
身長 (m)	1.84±0.05	1.92-1.77
体重 (kg)	74.4±7.8	91.0-60.0
07シーズンベスト記録 (s)	13.66±0.48	14.37-12.92
レース記録 (s)	13.75±0.49	14.48-13.02
シーズンベスト/ レース記録 達成率 (%)	99.3±0.8	100.0-98.1

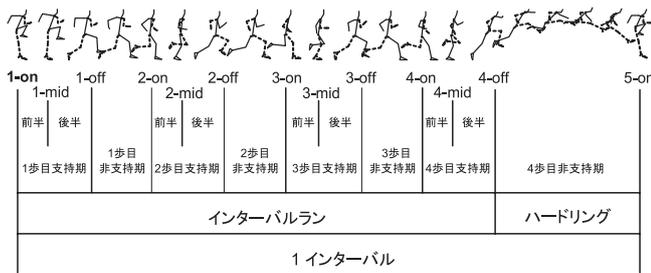


図1 動作時点および局面の定義

2.4 算出項目

(1) 重心座標および速度

平滑化した身体分析点の座標データから、身体部分および全身の重心座標を算出した。また、身体重心座標を数値微分することにより各動作時点における身体重心速度を算出した。

(2) ストライド

接地した足のつま先と次の歩のつま先の水平座標値の差をストライドとして算出した。

(3) 身体部分および下肢関節の角度と角速度

身体部分および下肢関節の角度を算出し、さらに数値微分することで角速度を算出した。

(4) 踏切距離, 着地距離

4-offのつま先とハードルの水平座標値の差を踏切距離, ハードルと5-onのつま先の水平座標値の差を着地距離とした。

(5) 踏切側および着地側身体重心変位

4-offにおける身体重心高とハードリング中の身体重心鉛直座標の最大値との差を踏切側身体重心変

位, 5-onの身体重心高とハードリング中における身体重心鉛直座標の最大値との差を着地側身体重心変位とした。

(6) 踏込角度, 踏切角度

各歩の接地時および離地時における身体重心の水平, 鉛直速度成分から逆正接をを求めることで, 踏込角度と踏切角度を算出した。

(7) 支持脚スイング角速度

大転子と外踝を結んだ線分と, 鉛直とのなす角度を数値微分することによって, 支持脚スイング角速度を算出した。前方へのスイングを正, 後方へのスイングを負とした。

(8) 身体重心移動距離

各局面における身体重心の水平移動距離を, 身体重心移動距離として算出した。

2.5 統計処理

身長の影響を考慮するために, 算出項目を目的変数, 疾走速度と身長を説明変数とした重回帰分析 (ステップワイズ法, 有意水準5%未満) を行い, 最も当てはまりの良い回帰関数を求め, 回帰式に採用された説明変数を分析対象とした。

算出項目と採用された説明変数との相関関係を検定するため, ピアソンの相関係数を算出した。有意水準は5%未満とした。

統計処理には, 統計処理ソフト (StatView, SAS Institute社製) を用いた。

3. 結果および考察

3.1 着地動作 (1歩目)

図2は着地距離と身長の関係を示したものである。着地距離と身長との間には有意な負の相関がみられた ($r = -0.503, p < 0.05$)。図3は着地側身体重心変位と身長の関係を示したものである。着地側身体重心変位と身長との間には有意な正の相関がみられた ($r = 0.733, p < 0.001$)。図4は1-onの踏込角度と身長の関係を示したものである。1-onの踏込角度と身長の間には, 有意な正の相関がみられた ($r = 0.670, p < 0.01$)。これらのことから, 身長が低い競技者は, 1歩目の接地がハードルから遠く, ハードリング中の身体重心の落下高が大きくなり, その結果として1-onの踏込角度が大きくなっていったと考えられる。

図5は1-onの支持脚下腿角度と疾走速度の関係を示したものである。1-onの支持脚下腿角度と疾走速度の間には, 有意な正の相関がみられた ($r =$

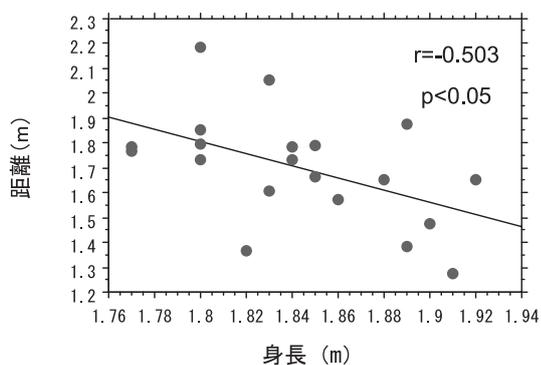


図2 着地距離と身長の関係

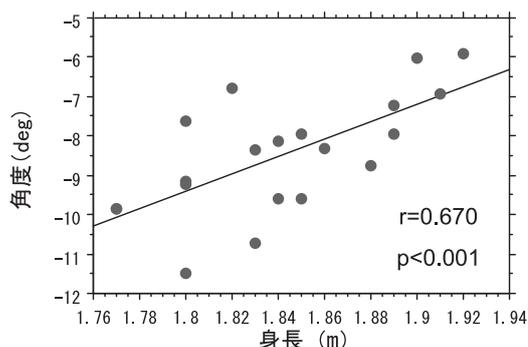


図4 1-on踏込角度と身長の関係

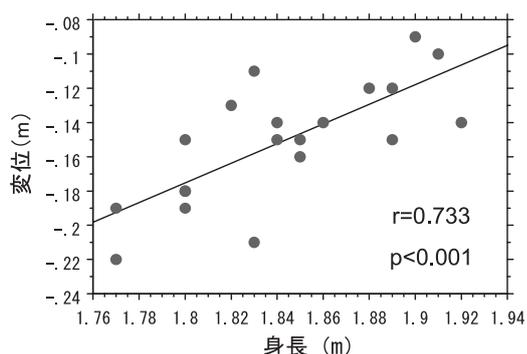


図3 着地側身体重心変位と身長の関係

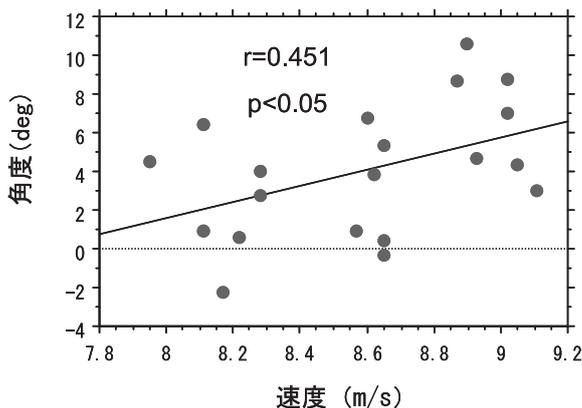


図5 1-on支持脚下腿角度と疾走速度の関係

0.451, $p < 0.05$) . 図6は1-onの支持脚下腿角速度と疾走速度の関係を示したものである. 1-midの支持脚下腿角速度と疾走速度の間には, 有意な負の相関がみられた ($r = -0.663$, $p < 0.01$) . 図7は1-onの体幹角度と疾走速度の関係を示したものである. 1-onの体幹角度と疾走速度の間には, 有意な負の相関がみられた ($r = -0.555$, $p < 0.05$) . 図8は1-onの支持脚スイング角速度と疾走速度の関係を示したものである. 1-onの支持脚スイング角速度と疾走速度の間には, 有意な負の相関がみられた ($r = -0.616$, $p < 0.01$) . 図9は1-midの支持脚スイング角速度と疾走速度の関係を示したものである. 1-midの支持脚スイング角速度と疾走速度の間には, 有意な負の相関がみられた ($r = -0.536$, $p < 0.05$) . また, 伊藤ら (1997) の報告にあった接地時の支持脚膝関節角度と疾走速度との相関はみられなかった.

これらのことから, 疾走速度の大きい競技者は支持脚の下腿を後傾させ, 体幹を前傾させた状態で接地し, 支持脚下腿の大きな前傾角速度および支持脚全体の後方スイング角速度によって, 身体を効率よく進めていたと考えられる.

1歩目では, 身長の影響によって着地距離等に差が出るものの, 動作は疾走速度に大きな影響を受けていたと考えられる.

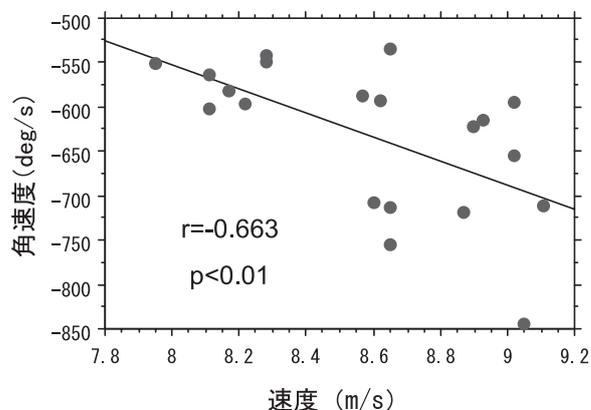


図6 1-on支持脚下腿角速度と疾走速度の関係

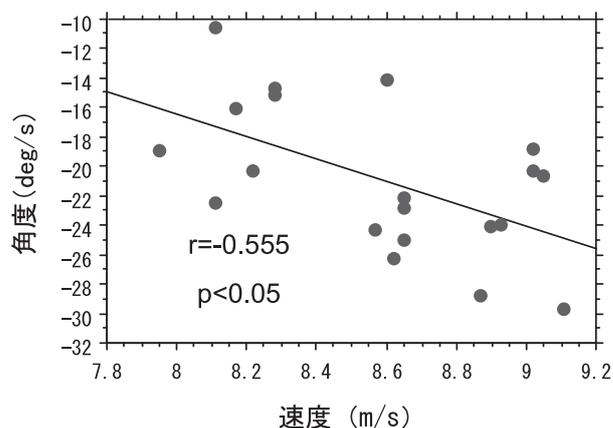


図7 1-on体幹角度と疾走速度の関係

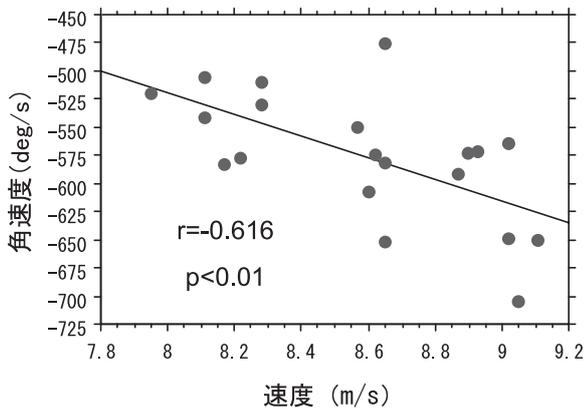


図8 1-on支持脚スイング角速度と疾走速度の関係

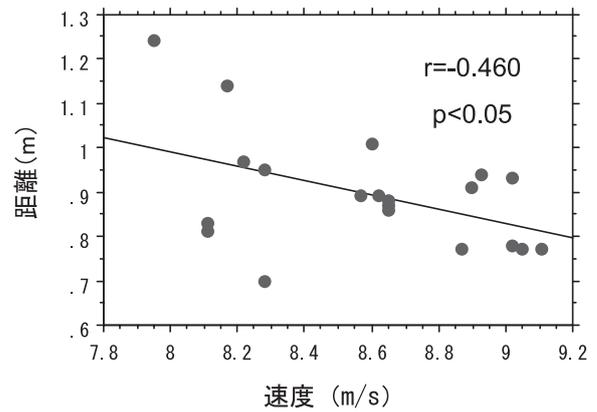


図11 2歩目非支持期身体重心移動距離と疾走速度の関係

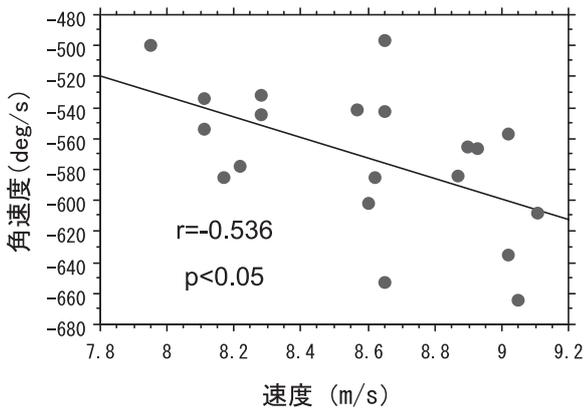


図9 1-mid支持脚スイング角速度と疾走速度の関係

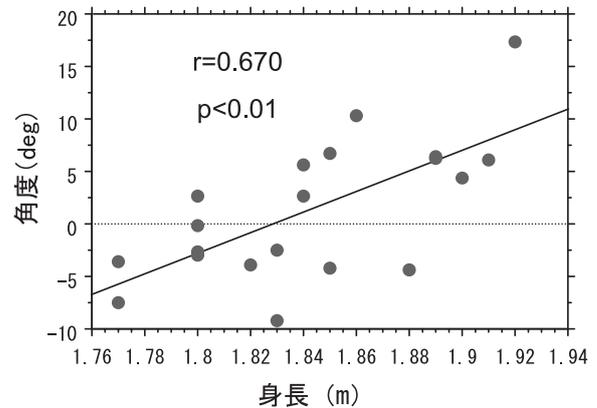


図12 2-on遊脚大腿角度と身長の関係

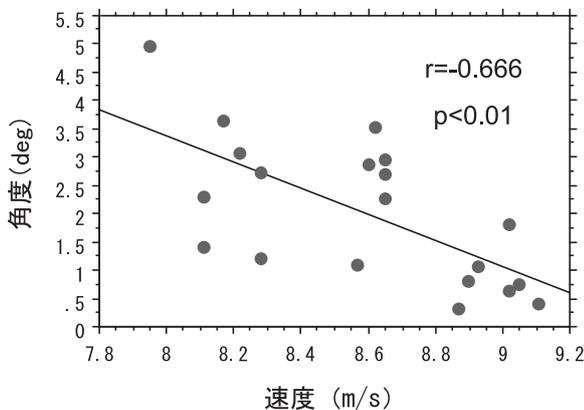


図10 2-off踏切角度と疾走速度の関係

3.2 2歩目

図10は2-offの踏切角度と疾走速度の関係を示したものである。2-offの踏切角度と疾走速度との間には、有意な負の相関がみられた ($r = -0.666$, $p < 0.01$)。

図11は2歩目非支時期の身体重心移動距離と疾走速度の関係を示したものである。2歩目非支時期の身体重心移動距離と疾走速度との間には、有意な負の相関がみられた ($r = -0.460$, $p < 0.05$)。これら

のことから、疾走速度の大きな競技者は、2-offにおいて踏切角度を小さくすることで、非支持期の身体重心移動距離を小さくしていたものと考えられる。

図12は2-onの遊脚大腿角度と身長の関係を示したものである。2-onの遊脚大腿角度と身長との間には、有意な正の相関がみられた ($r = 0.670$, $p < 0.01$)。図13は2-onの遊脚股関節角度と身長との関係を示したものである。2-onの遊脚股関節角度と身長との間には、有意な負の相関がみられた ($r = -0.736$, $p < 0.001$)。図14は2-midの支持脚下腿角速度と疾走速度の関係を示したものである。2-midの支持脚下腿角速度と疾走速度との間には、有意な負の相関がみられた ($r = -0.518$, $p < 0.05$)。図15は2-midの支持脚スイング角速度と疾走速度の関係を示したものである。2-midの支持脚スイング角速度と疾走速度との間には、有意な負の相関がみられた ($r = -0.516$, $p < 0.05$)。図16は2-offの支持脚膝関節角度と疾走速度の関係を示したものである。2-offの支持脚膝関節角度と疾走速度との間には、有意な負の相関がみられた ($r = -0.498$, $p < 0.05$)。

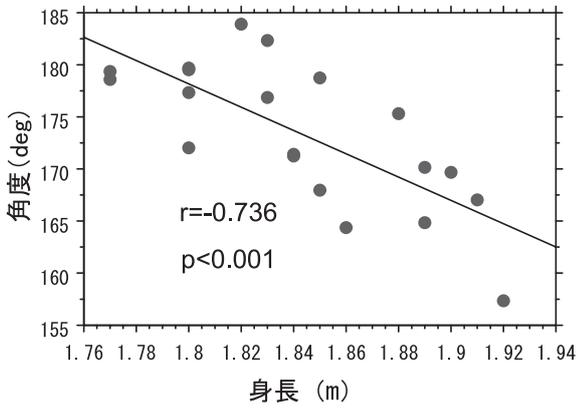


図13 2-on遊脚股関節角度と身長の関係

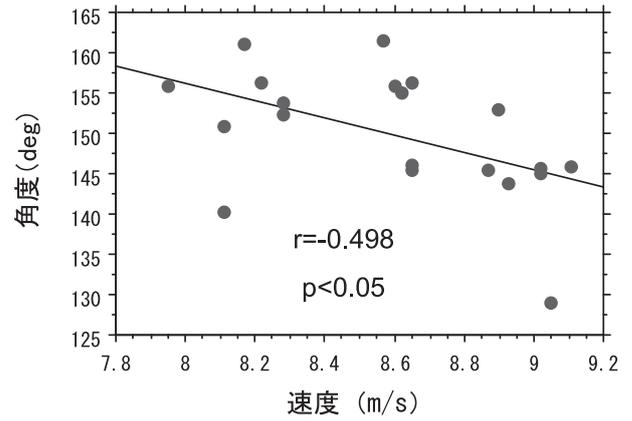


図16 2-off支持脚膝関節角度と疾走速度の関係

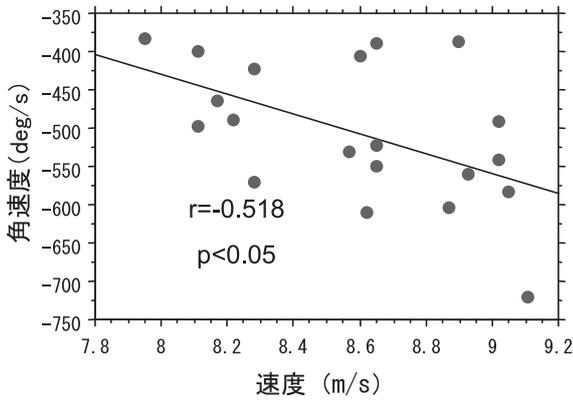


図14 2-mid支持脚下腿角速度と疾走速度の関係

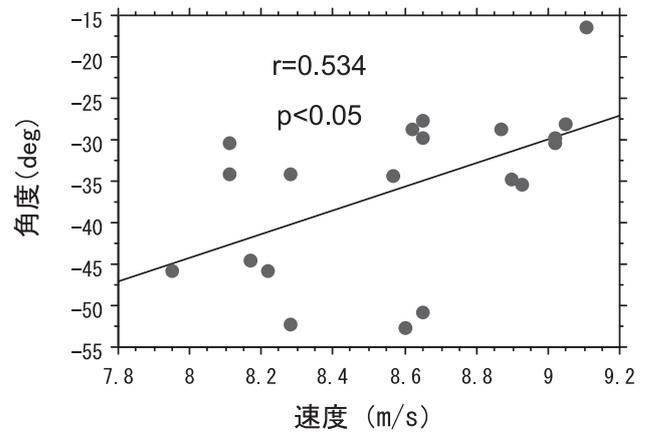


図17 2-off遊脚下腿角度と疾走速度の関係

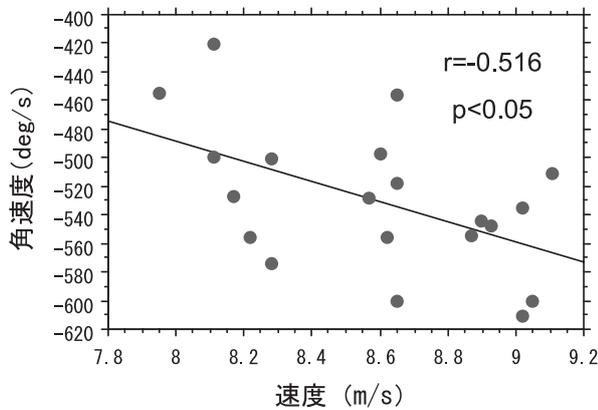


図15 2-mid支持脚スイング角速度と疾走速度の関係

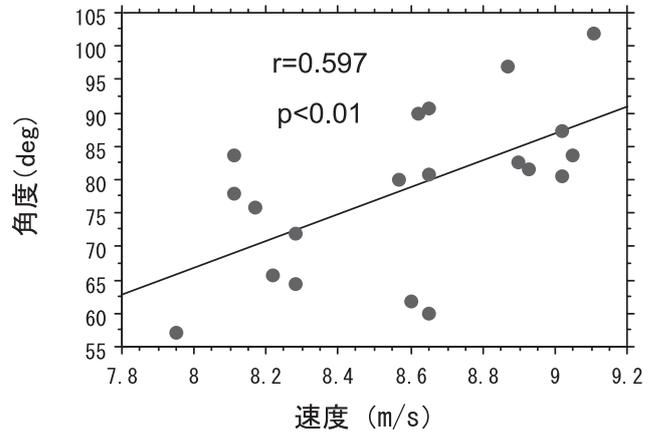


図18 2-off遊脚膝関節角度と疾走速度の関係

図17は2-offの遊脚下腿角度と疾走速度の関係を示したものである。2-offの遊脚下腿角度と疾走速度との間には、有意な正の相関がみられた ($r = 0.534$, $p < 0.05$)。図18は2-offの遊脚膝関節角度と疾走速度の関係を示したものである。2-offの遊脚膝関節角度と疾走速度との間には、有意な正の相関がみられた ($r = 0.597$, $p < 0.01$)。図19は2-offの支持脚スイング角速度と身長の関係を示したものである。2-offの支持脚スイング角速度と身長との間には、有意な正の相関がみられた ($r = 0.600$, p

< 0.01)。図20は2-offの遊脚大腿角速度と身長の関係を示したものである。2-offの遊脚大腿角速度と身長との間には、有意な負の相関がみられた ($r = -0.563$, $p < 0.01$)。

これらのことから、身長の高い競技者の特徴として、2歩目支持期前半の遊脚のリカバリーが早く、さらに離地時には支持脚後方スイング速度および遊脚の大腿前方スイング速度が小さかったことが挙

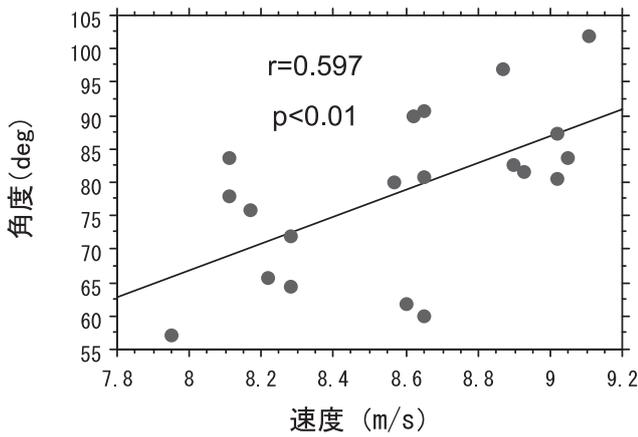


図18 2-off遊脚膝関節角度と疾走速度の関係

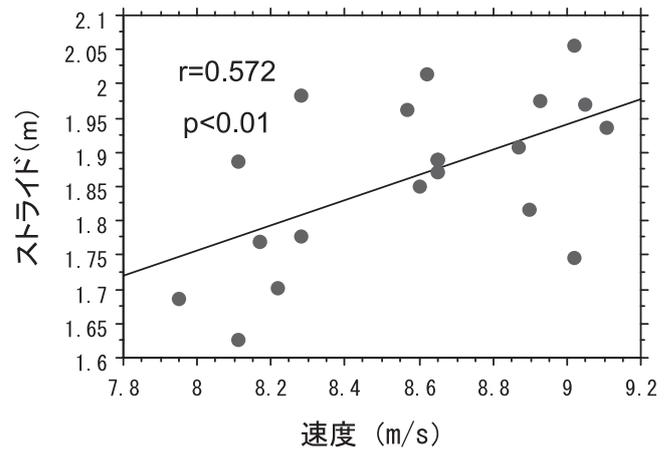


図21 3-4歩目ストライドと疾走速度の関係

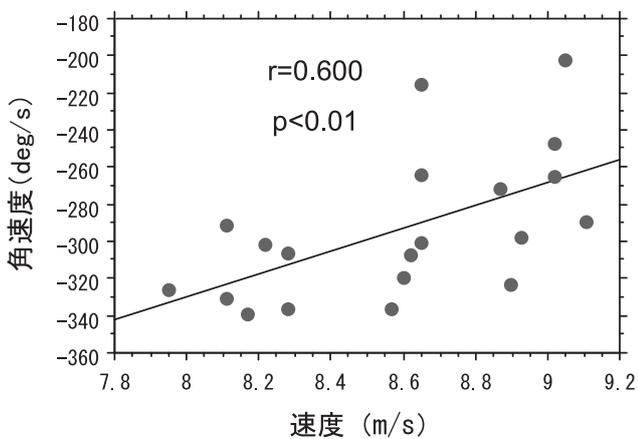


図19 2-off支持脚スイング角速度と疾走速度の関係

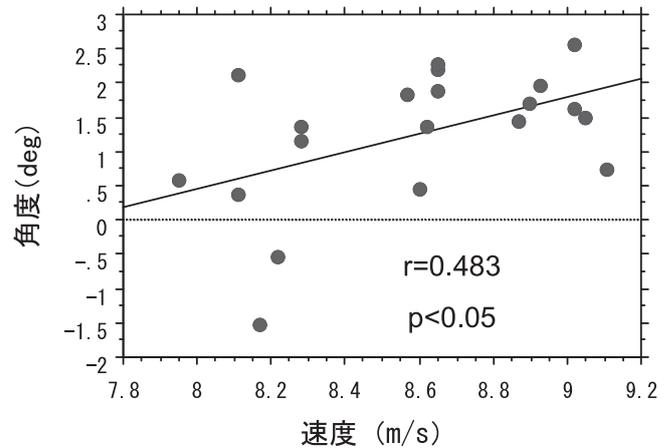


図22 3-off踏切角度と疾走速度の関係

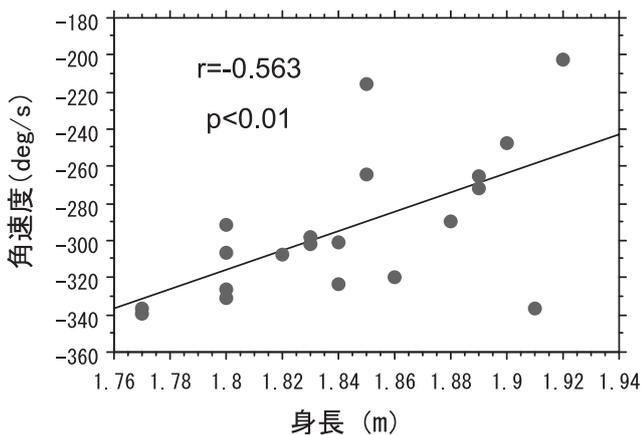


図20 2-off遊脚大腿角速度と疾走速度の関係

げられる。それによって、2歩目のストライドを抑え、ピッチを高める動作を行っていたと考えることができる。

110mH走ではハードル間のインターバルが9.14mと規定されており、ストライドが制限された中でできる限りピッチを高めることが重要となる。2歩目

において、身長の高い選手は遊脚のリカバリーを早め、離地時に支持脚のキック動作や遊脚のもも上げ動作を抑えることで、ピッチを高めることができていたと考えられる。

疾走速度の大きな競技者の特徴として、2-midの支持脚下腿前傾速度および支持脚後方スイング角速度が大きく、支持期中間で身体を効率よく進めることができていたと考えられる。また、2-offの支持脚膝関節角度を小さくするとともに、下腿を振り出すことによって遊脚膝関節角度を大きくしていた。

3.3 3歩目

図21は3-4歩目のストライドと疾走速度の関係を示したものである。3-4歩目のストライドと疾走速度の間には、有意な正の相関がみられた ($r = 0.572$, $p < 0.01$)。図22は3-offの踏切角度と疾走速度の関係を示したものである。3-offの踏切角度と疾走速度の間には、有意な正の相関がみられた ($r = 0.483$, $p < 0.05$)。

3歩目の動作と疾走速度および身長の間には有意な相関関係はほとんど認められなかったが、図10と

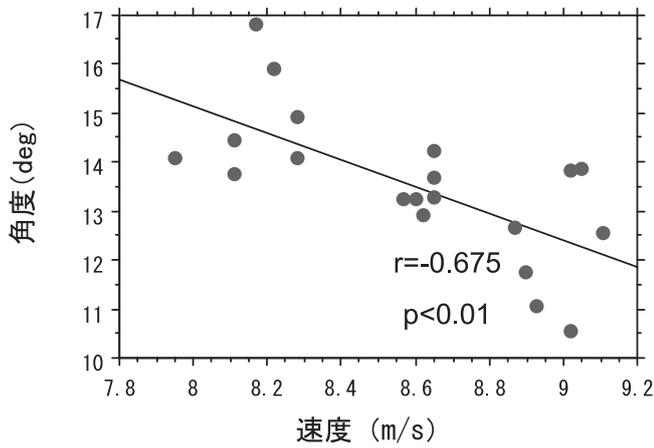


図23 4-off踏切角度と疾走速度の関係

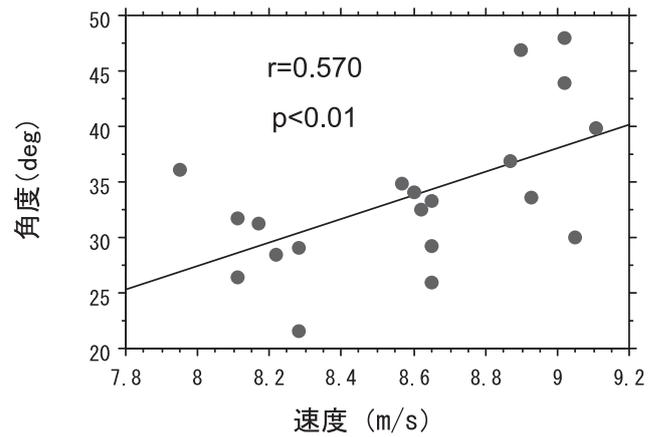


図25 4-mid遊脚膝関節角度と疾走速度の関係

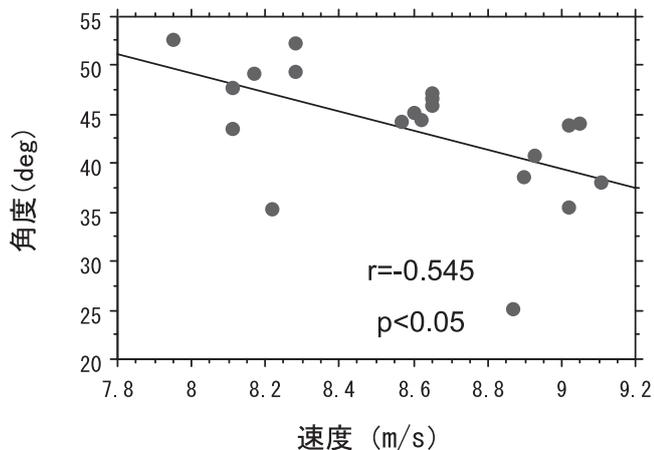


図24 4-mid遊脚大腿角度と疾走速度の関係

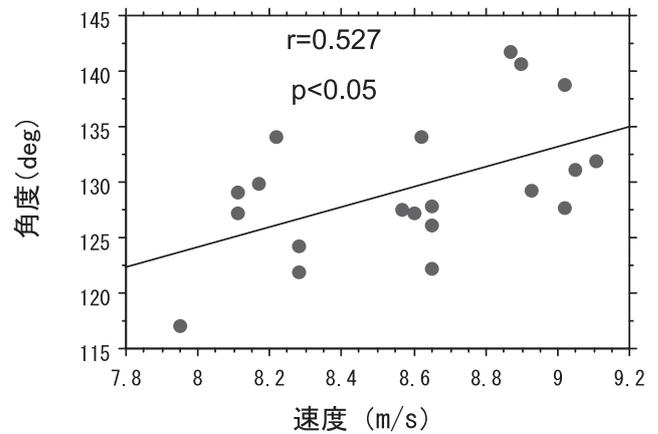


図26 4-mid遊脚股関節角度と疾走速度の関係

図22から、疾走速度の大きな競技者は2-offと3-offの踏切角度が同じような値を示しているのに対し、疾走速度の小さな競技者は、2-offに比べ、3-offの踏切角度が小さく、また3-4歩目のストライドも小さかった。

これらのことから、3歩目では踏切準備のために疾走速度に拘わらず同じような動作を行う必要があり、その結果踏切角度やストライドに差を生じているのではないかと考えられる。

3.4 踏切動作 (4歩目)

図23は4-offの踏切角度と疾走速度の関係を示したものである。4-offの踏切角度と疾走速度の間には、有意な負の相関がみられた ($r = -0.675$, $p < 0.01$)。

図24は4-midの遊脚大腿角度と疾走速度の関係を示したものである。4-midの遊脚大腿角度と疾走速度の間には、有意な負の相関がみられた ($r = -0.545$, $p < 0.05$)。

図25は4-midの遊脚膝関節角度と疾走速度の関係を示したものである。4-midの遊脚膝関節角度と疾

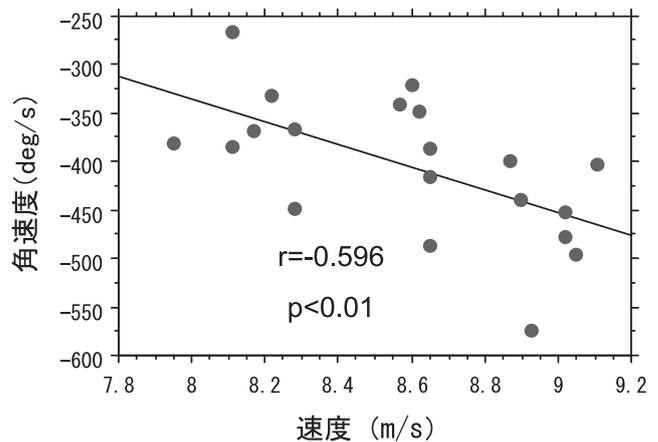


図27 4-mid支持脚下腿角速度と疾走速度の関係

走速度との間には、有意な正の相関がみられた ($r = 0.570$, $p < 0.01$)。図26は4-midの遊脚股関節角度と疾走速度の関係を示したものである。4-midの遊脚股関節角度と疾走速度の間には、有意な正の相関がみられた ($r = 0.527$, $p < 0.05$)。図27は4-midの支持脚下腿角速度と疾走速度の関係を示したものである。4-midの支持脚下腿角速度と疾走速度の間には、有意な負の相関がみられた ($r = -0.596$, p

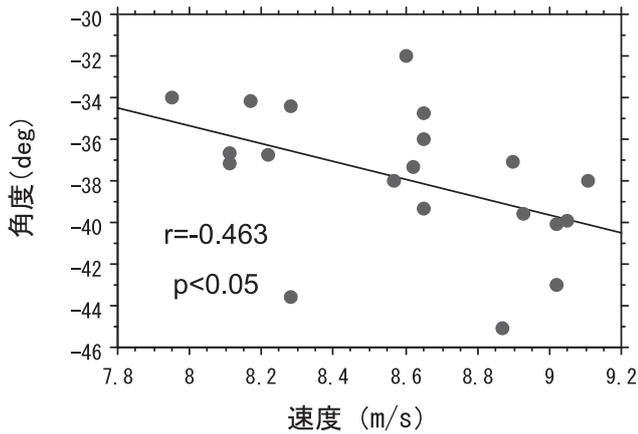


図28 4-off支持脚下腿角度と疾走速度の関係

く 0.01) . 図28は4-offの支持脚下腿角度と疾走速度の関係を示したものである. 4-offの支持脚下腿角度と疾走速度との間には, 有意な負の相関がみられた ($r = -0.463$, $p < 0.05$) . また, 4-midの支持脚スイング角速度と疾走速度および身長との間に, 有意な相関関係がみられた ($R = 0.694$, $p < 0.01$) . 回帰係数は, 疾走速度が負の値を, 身長が正の値を示した.

これらのことから, 疾走速度の大きい競技者は, 4-midで遊脚(リード脚)を引き上げるタイミングを遅らせているとともに, 膝関節を小さくたたむことなく踏切動作を行っていたと考えられる. Mann (1996) は, 踏切支持期中のリード脚の動作について, 2種類の動作が存在すると報告している. 1つ目はリード脚の膝関節を大きく屈曲させたコンパクトで素早い踏切動作であり, 2つ目は, リード脚の膝関節の屈曲を小さくさせた力強い踏切動作である. Mannはエリートハードラーでは, 後者の踏切動作を用いていると報告しており, 本報告でも同様の結果が得られた. また, 疾走速度の大きな競技者は, 4-midから4-offにかけて大きな支持脚下腿の前傾角速度を生じていたことによって, 小さな踏切角度で踏切動作を行うことができたと考えられる.

4. まとめ

本報告から, 以下のようなキネマティクスの特徴が明らかになった.

- ① 1歩目では, 身長の影響によって着地距離等に差が出るが, 疾走速度の大きな競技者は, 支持脚の下肢前傾角速度および後方スイング角速度によって身体を効率よく進めていた.
- ② 2歩目では, 疾走速度の大きな競技者は2-midの支持脚下腿前傾速度および支持脚後方スイング角速

度が大きく, 支持期中間で身体を効率よく進めることができていた. また, 身長の高い選手は遊脚のリカバリーを早め, 離地時に支持脚のキック動作や遊脚のもも上げ動作を抑え, ピッチを高めていた.

③ 3歩目では踏切準備のために疾走速度に関わらず同じような動作を行う必要があり, その結果踏切角度やストライドに差を生じていた.

④ 疾走速度の大きい競技者は, 4-midで遊脚(リード脚)を引き上げるタイミングを遅らせているとともに, 膝関節を小さくたたむことなく踏切動作を行っていた. また, 4-midから4-offにかけて, 大きな支持脚下腿の前傾角速度を生じており, それによって小さな踏切角度で踏切動作を行うことができた.

参考文献

- 伊藤 章, 富樫 勝 (1997) ハードル走のバイオメカニクス的研究: スプリント走との比較. 体育学研究42: 246-260.
- Mann, R. (1996) The mechanics of sprinting and hurdling. Unpublished report for The Athletics Congress and U.S. Olympic Committee, Colorado springs: 89-119.