

## 100 mハードル走におけるハードルサイクルおよびステップごとにみた疾走速度の変化

杉本和那美<sup>1)</sup> 榎本靖士<sup>2)</sup> 森丘保典<sup>3)</sup> 貴嶋孝太<sup>4)</sup> 松尾彰文<sup>4)</sup>

1) 青山学院大学 2) 筑波大学 3) 日本体育協会 4) 国立スポーツ科学センター

### Characteristics of hurdle cycle and step velocity in Women's 100m sprint hurdle race

Kanami Sugimoto<sup>1)</sup> Yasushi Enomoto<sup>2)</sup> Yasunori Morioka<sup>3)</sup> Kota Kijima<sup>4)</sup>  
Akihumi Matsuo<sup>4)</sup>

1) College of Education, Psychology and Human Studies, Aoyama Gakuin University

2) Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

3) Sports Science Lab., Japan Amateur Sports Association

4) Japan Institute of Sports Science

#### Abstract

The purpose of this study was to investigate hurdle cycle and step velocity in Women's 100m sprint hurdle (100mH) races. The 100mH races in two official competitions were videotaped with three high-speed video cameras (EXILIM F-1, Casio Ltd., 300Hz) and measured the distance of hurdlers from the start with LAVEG (LDM301, JENOPTIK Ltd., 100Hz). Forty six hurdle races were divided into three groups (U13.5, U14.0, U14.5) based on their race time. Cycle and step velocity, step frequency, and step length were calculated by combining the data of distance from start and of timing at touch down of every step through race from the video image. The results were as follows, 1) The maximal cycle velocity was significantly correlated with the race time ( $r=-0.964$ ,  $p<0.001$ ), 2) U13.5 was significantly smaller in the relative velocity at 1C than any other group ( $p<0.01$ ), 3) Step velocity of the first and second step in each cycle was higher than third and fourth step, 4) The difference between step velocity of the fourth step and next first step was largest in hurdle cycle, and that was large in order of 2C, 5C, 9C, 5) The step velocity of U13.5 did not decrease in hurdle cycle during acceleration stages, 6) Neither step length was not correlated with the race time, 7) In 2C, third step time of U14.5 was longer and fourth step time of U13.5 was shorter than other two groups.

#### I. 緒言

ハードル走は、規則的に設置されたハードルを越えフィニッシュタイムを競う種目特性から、これまでレースにおけるハードル着地時の10回のタッチダウンタイムから11区間の速度を算出しレース分析が行われてきた。女子100mハードル走における研究では、最高速度と記録との間に負の相関が認められること、競技レベルが高い選手はレース前半から中盤にかけて速度が大きく増加することが報告されている(柴山ら2007)。しかしタッチダウン分析

のみでは、最高速度到達まで区間内の4歩(インターバルランニング3歩とハードリング1歩:以降ハードルサイクルと言う)でどのような速度変化が起きているかについては言及できない。

一方、ハードル走はハードリング技術がフィニッシュタイムに大きく影響することから、ハードリングに関する動作分析も多くなされている。ハードリングでは、ハードルを越えるための鉛直速度を獲得する一方、踏切時に水平速度が減少することが報告されている(樋口ら1984, 伊藤と富樫1997)。このことから、ハードリングでの減速をできるだけ小さ

くすること、インターバルランニングで速度を増大させておくことが最高速度の増大やレース後半での区間速度の維持につながると考えられている。インターバルランニングの研究は、磯ら (2002), 谷川ら (2002), 柴山ら (2011) などの報告があるが、いずれの研究においても最大速度出現区間付近の1区間1サイクルのみを分析しており、加速区間や減速区間を含む連続するインターバル走の研究はされていない。特に女子100mハードル走は、男子110mハードル走に比べハードル高が相対的に低く、スプリント能力が大きく影響していると言われている。森田ら (1994) は、1991年に開催された第3回世界陸上競技選手権東京大会の分析結果から、今大会 (13.85秒以内) においては、ハードリングタイムは、レース記録と強く関係しておらず、記録を短縮させるためには、インターバルランタイムの短縮が必要となると報告している。

しかしながら、ハードル走で全区間における1歩毎の速度を計測するには、区間ごとにビデオカメラの設置が必要になること、分析に大変時間を要するため、多くの人手と時間がかかることが問題になるであろう。短距離走のスピード分析に用いられるレーザー式速度測定器は、即時的にしかも連続的な距離-時間データを測定できる。ハードル走は踏切時のディップ動作や着地時の姿勢が選手間、あるいは区間ごとで違いがあることが容易に予想され、動作分析ほどの正確なデータを得ることは困難であるが、ハードル区間の平均スピードだけでなく1歩 (ステップ) ごとのスピードを算出できることから、100mハードル走における疾走速度の変化の特徴をより詳細に明らかにすることができ、パフォーマンス向上への示唆が得られると考えられる。

本研究は、競技会における女子100mハードル走のハードルサイクルおよびステップごとの疾走速度の変化を明らかにし、一流女子ハードル選手のレースパターンの特徴を抽出することを目的とした。

## II. 方法

### 1. 分析対象

分析対象は、2011年に開催された第45回織田幹雄記念国際陸上競技大会および第95回日本陸上競技選手権大会における女子100mHに出場した21選手 (中国選手2名を含む)、のべ46レースとした。記録レベルで13秒前半 (U13.5), 13秒後半 (U14.0) および14秒前半 (U14.5) の3群に分けた (表1)。

表1 分析対象者

	U13.5	U14.0	U14.5
範囲 (s)	13.25～ 13.48	13.55～ 13.97	14.02～ 14.42
平均 (s)	13.35	13.81	14.19
レース数	12	26	8

### 2. データ収集

3台のハイスピードカメラ (Casio社製 EXILIM F-1, 300Hz) を用い、スタートの閃光と分析対象者が映る画角に設定し、2台は側方 (ホームスタンドのスタートから50m付近とフィニッシュ付近) から追従撮影し、1台は正面から固定撮影した。得られた映像からスタートからの1歩毎の接地時刻を読み取った。

レーザー式速度測定器 (JENOPTIK社製 LDM301, 100Hz) をスタートラインの後方にセットし、選手の背中にレーザービームを照射することでスタートからの距離を測定した。得られた測定値は、低域通過型バターワースデジタルフィルタを用いて0.5Hzで平滑化した後、スプライン関数を用いて補間処理し300Hzのデータに変換した。フィニッシュ地点でタイムと距離を同期させ、1歩毎のストライドを算出し、1歩の時間で除すことで1歩毎の疾走速度 (ステップ速度) を算出した。

これらの測定は、日本陸上競技連盟科学委員会の活動の一部として行われた。

### 3. 算出項目

図1は、本研究で用いる用語の定義を示したものである。ステップは、ハードリングを4歩目とし、ハードリング後の接地から次の接地を1歩目とした。1歩目から4歩目までの4ステップを1サイクルとした。サイクルは、第1ハードルの踏切3歩前 (スタートから6歩目) から第1ハードルの着地までを1Cとし、以下1サイクル毎に2Cから10Cとした。

サイクル速度は、1サイクル (4歩) の距離を要した時間で除すことで算出した。また、サイクル速度の最大値を100%とし、各サイクルの相対速度を算出した。

速度変化量は、サイクルあるいはステップ間の速度の差 ( $V_n - V_{n-1}$ ) を算出した。この時  $V_n$  は、サイクルあるいはステップ  $n$  の速度を示し、 $V_{n-1}$  はその1つ前のサイクルあるいはステップを示している。算出された正および負の値はそれぞれ、加速および

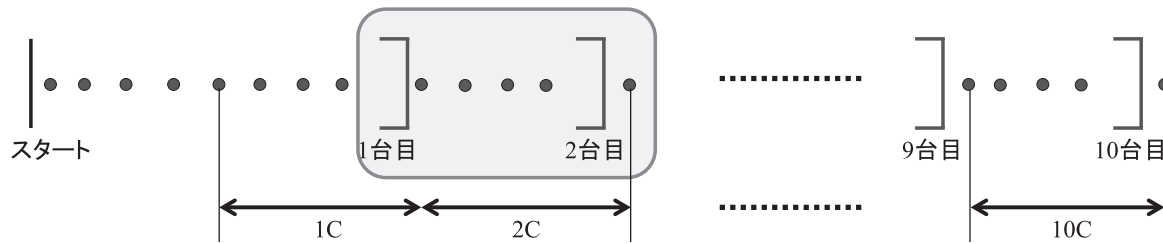
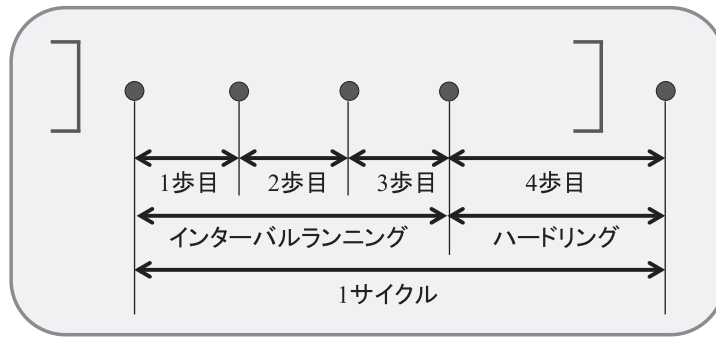


図1 用語の定義

減速を示している。

### Ⅲ. 結果と考察

#### 1. タッチダウンタイムおよびサイクルタイム

表2は、各群におけるタッチダウンタイムの平均値を示したものである。1台目でU13.5が2.64秒、U14.0が2.69秒、U14.5が2.70秒とU13.5が他の2群より早かった。2台目になるとU13.5が3.72秒、U14.0が3.79秒、U14.5が3.81秒でU13.5とU14.0の差が0.07秒と1-2台目で特に大きな差があった。

図2は、各群におけるサイクルタイムの変化を平均値で示したものである。U13.5において1Cから5Cまで、他の2群においては4Cまでタイムが短くなり、その後徐々に10Cまで長くなった。全てのサイクルでU13.5のタイムが最も短く、U14.0、U14.5の順に短かった。サイクルタイムの最小値は、U13.5が5Cで1.031秒、U14.0およびU14.5が4Cで1.065秒と1.095秒であった。

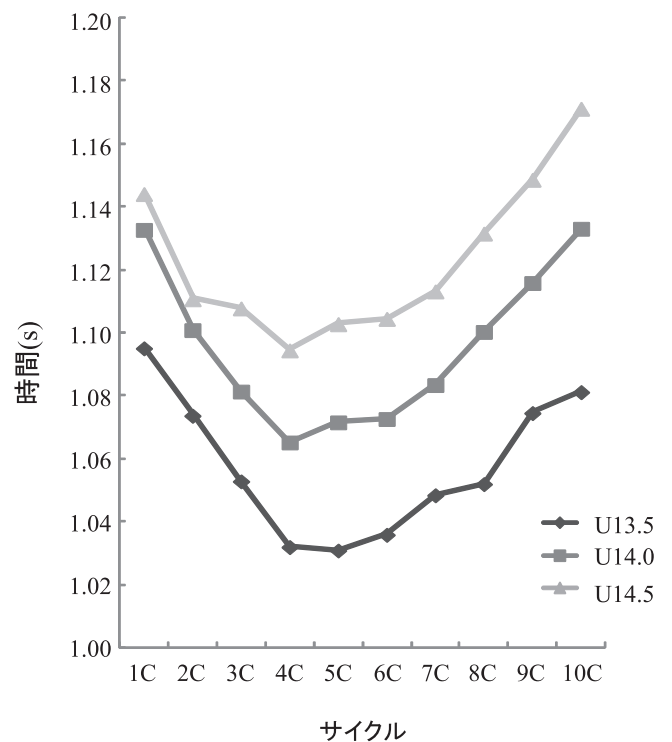


図2 各群におけるサイクルタイムの変化

表2 各群におけるタッチダウンタイム

	1台目	2台目	3台目	4台目	5台目	6台目	7台目	8台目	9台目	10台目	Goal
U13.5	2.64	3.72	4.77	5.81	6.84	7.88	8.93	9.98	11.06	12.14	13.36
U14.0	2.69	3.79	4.87	5.94	7.01	8.08	9.16	10.26	11.38	12.51	13.81
U14.5	2.70	3.81	4.91	6.01	7.11	8.22	9.33	10.46	11.61	12.78	14.19

単位:s

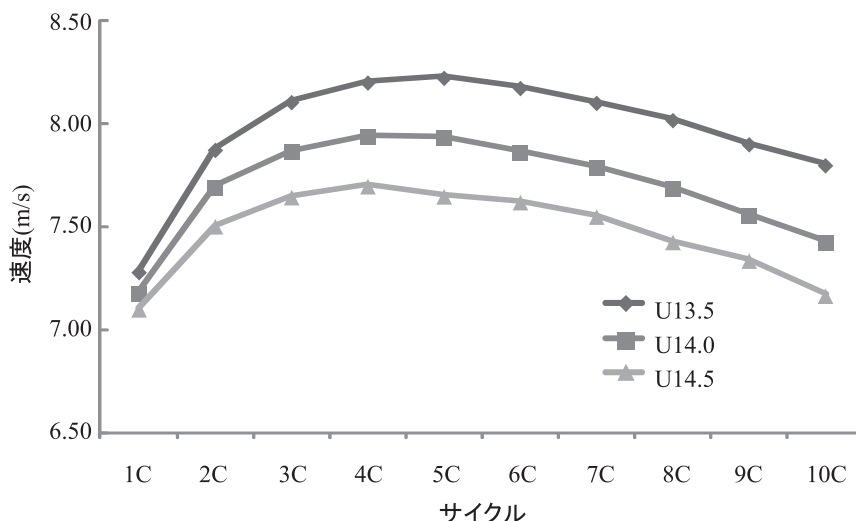


図3 各群におけるサイクル速度曲線

## 2. サイクル速度

図3は、各群におけるサイクル速度の変化を平均値で示したものである。全ての群において1Cから2Cにかけて大きく増大し、その後最大値が出現するまで徐々に増大していた。サイクル速度の最大値はU13.5が5Cにおいて8.23m/s、U14.0が4Cで7.95m/s、U14.5が4Cで7.71m/sであり、サイクル速度の最大値とレース記録の間に非常に高い負の相関がみられた ( $r=-0.964$ ,  $p<0.001$ )。サイクル速度の変化量は、1Cと2Cの間ですべての群で最も大きく、U13.5が0.59m/s、U14.0が0.51m/s、U14.5が0.40m/sとU13.5が他の2群より有意に大きな値を示した (U14.0 :  $p<0.05$ , U14.5 :  $p<0.01$ )。

サイクル速度は、最大値出現以降全ての群において10Cまで減速した。本研究におけるサイクル速度は、これまでのタッチダウンタイムから算出された区間速度の最大値、変化パターンともにほぼ同様の傾向を示した (森田ら1994, 柴山ら2007)。このこ

とから、レーザー速度測定器を用いた1サイクルの速度は、タッチダウンから算出された区間速度と同程度の評価ができると考えられる。

表3は、各群におけるサイクル速度とともにサイクル速度の最大値を100%とした相対速度を示している。1CにおいてU13.5は88.5%、U14.0は90.5%、U14.5は92.2%であり、U13.5は他の2群に比べ有意に小さかった ( $p<0.01$ )。1CにおけるU13.5のサイクル速度は7.29m/sで他の2群より有意に大きかった ( $p<0.01$ )。これらのことは、U13.5は他の2群より大きな速度で第1ハードルにアプローチしているものの、第1ハードルを越えてからさらにスムーズで大きな加速につながっていることを示唆している。

また、10Cにおける相対速度は、U13.5が94.8%、U14.0が93.5%、U14.5が93.1%でU13.5が他の2群より大きかったが、群間に有意な差は認められなかった。柴山ら(2007)は、大阪世界陸上女子

表3 サイクル速度および相対速度

	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	9C	10C
U13.5 サイクル速度	7.29	7.88	8.11	8.21	8.23	8.18	8.11	8.03	7.91	7.81
U13.5 標準偏差	0.08	0.06	0.10	0.10	0.08	0.07	0.09	0.08	0.06	0.08
U13.5 相対速度	(88.5)	(95.7)	(98.6)	(99.7)	(100.0)	(99.4)	(98.5)	(97.5)	(96.1)	(94.8)
U14.0 サイクル速度	7.19	7.70	7.87	7.94	7.94	7.87	7.80	7.69	7.56	7.43
U14.0 標準偏差	0.08	0.10	0.11	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.14
U14.0 相対速度	(90.5)	(96.9)	(99.1)	(100.0)	(100.0)	(99.0)	(98.1)	(96.8)	(95.2)	(93.5)
U14.5 サイクル速度	7.11	7.51	7.65	7.71	7.66	7.63	7.56	7.44	7.34	7.17
U14.5 標準偏差	0.08	0.09	0.07	0.09	0.12	0.09	0.06	0.09	0.09	0.16
U14.5 相対速度	(92.2)	(97.5)	(99.3)	(100.0)	(99.4)	(99.0)	(98.1)	(96.5)	(95.3)	(93.1)

単位:m/s (%)

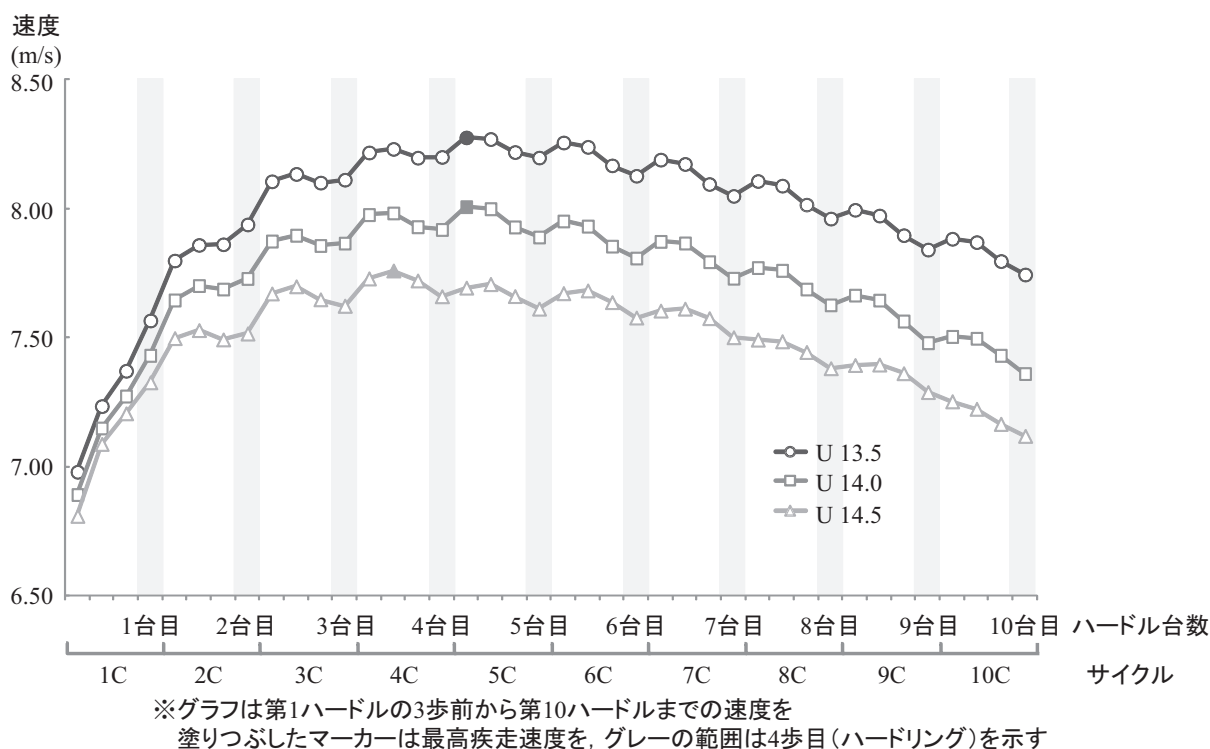


図4 各群におけるステップ速度の変化

100mH をレース記録で上, 中, 下位群に分けて区間速度を比較し, レース中盤以降速度が低下する傾向は各群とも共通していたと報告している. このことは, 女子 100mH ではレース後半での速度維持よりも最高速度出現までの速度増大がレース記録に重要な役割を持つことを示唆している.

### 3. ステップ速度

図4は, 各群における第1ハードルの踏切3歩前(第1サイクル1歩目)から第10ハードルの着地(第10サイクル4歩目)までのステップ速度の変化を平均値で示したものである. U13.5は3Cの2歩目まで, 他の2群は2Cの2歩目まで加速し続け, その後, 最高速度出現まで全ての群において各サイクル内のステップ速度は2歩目で最大であった. ステップ速度の最大値は, U13.5が8.28m/s, U14.0が8.01m/sであり, 両群とも5Cの1歩目で, U14.5は7.76m/sで4Cの2歩目で出現していた. 最大値の出現以降はステップ速度がU13.5およびU14.0は各サイクルの1歩目で, U14.5は1あるいは2歩目で最大であり, 全ての群で4歩目は3歩目より減少していた.

サイクル速度の相対値98.5%以上を速度維持区間とし, それ以前を加速区間, それ以降を減速区間と定義した. 本研究では, 加速, 速度維持, 減速区間はそれぞれ, U13.5が2区間, 5区間(3Cから

7C), 3区間, U14.0およびU14.5が, 2区間, 4区間(3Cから6C), 4区間であった. 加速区間においてU13.5は, 1歩目から4歩目まで減速することなく速度を増大させており, 特に1歩目で速度が大きく増大していた. U14.0およびU14.5は2Cの2歩目から3歩目で速度が減少していた. すなわち, これらのことは, U13.5は加速区間においてはすべてのステップにおいて加速できる特徴を有していることを示していると考えられる.

図5は, 2C, 5C, 9Cにおけるステップ間の速度の変化量を各群の平均値で示したものである. いずれも2Cは加速区間, 5Cは速度維持区間, 9Cは減速区間の各群における典型例である. 4歩目から1歩目(4-1歩目)の速度変化量は, 大きな正の値を示し, それはどの群においても2C, 5C, 9Cの順に大きかった. これは, 1歩目の加速が速度の増大に最も貢献しており, サイクルが進むにつれてその加速が小さくなっていることを示していると考えられる. また, 2CにおいてはU13.5およびU14.0がU14.5より有意に大きな値を示した(それぞれ $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ ). 3歩目から4歩目(3-4歩目)の速度変化量は2Cにおいて正の値を, 5Cおよび9Cにおいて負の値を示した. すなわち, ハードリング踏切において加速区間では加速, 速度維持および減速区間では減速していたことを示している. さらに, 5Cと9Cにおいてはいずれの速度変化量においても

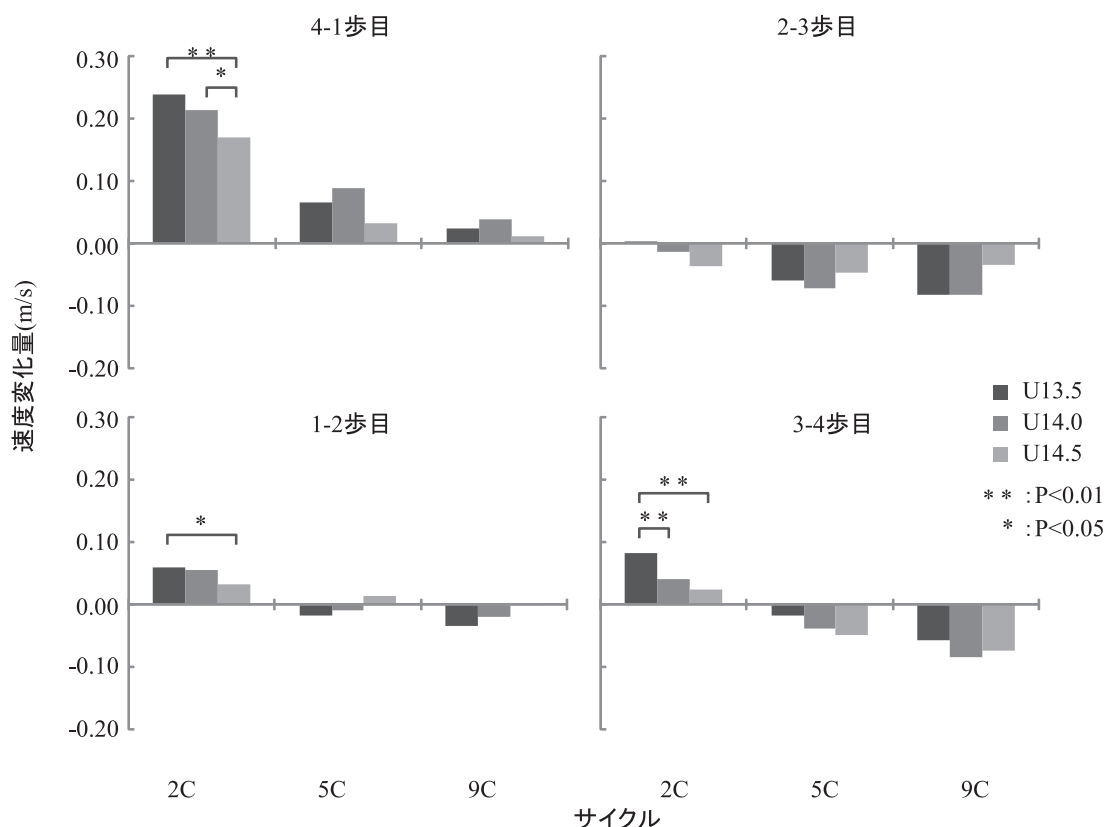


図5 2C, 5C, 9Cにおけるステップ間の速度変化量

群間に有意な差がみられず,最高速度出現以降では,競技レベルよりも選手個々の特徴によってステップごとの加速と減速を生じながら速度の維持に努めていることが示唆される。

### 3. ストライドおよびステップタイム

表4は, 2C, 5C, 9Cにおける対象者全員のストライドの平均値, 標準偏差, 変動係数を示したものである。2C, 5C, 9Cのいずれのサイクルにおいても4歩目, 2歩目, 3歩目, 1歩目の順に大きかった。McDonald and Dapena (1991)は, 動作分析からストライドを算出し, 1歩目から順に1.35m, 1.96m, 1.76m, 3.47mであったと報告している。それらと本研究における5Cのストライドを比較すると, 1歩目の差が最も大きく本研究の方が約7cm大きな値

を示したが, そのほかのステップでは大きな差は見られなかった。いずれのストライドもレース記録との間に有意な相関はみられなかった。

図6は, 各群におけるステップタイムの変化を平均値で示したものである。1歩目の2Cから10Cまでのタイムは, 全ての群で0.170から0.194秒であった。1Cが2C以降のタイムより大きな値を示したのはアプローチランニングであり, 2C以降のハードリングの着地の1歩目とは異なるためである。2歩目は, 2Cから徐々にタイムが短くなり, 最小値はU13.5が5Cで0.235秒, U14.0およびU14.5が4Cで0.241秒と0.245秒であった。その後, 10Cまで徐々に増大した。4歩目におけるステップタイムの最小値は, U13.5が4C, 5C, 6Cで0.416秒, U14.0が4Cで0.438秒, U14.5が5Cで0.449秒であっ

表4 2C, 5C, 9Cにおける対象者全員の平均ストライド

	2C				5C				9C				有意水準			
	1歩目	2歩目	3歩目	4歩目	1歩目	2歩目	3歩目	4歩目	1歩目	2歩目	3歩目	4歩目	1歩目	2歩目	3歩目	4歩目
平均	1.38	1.92	1.65	3.50	1.42	1.93	1.69	3.45	1.40	1.97	1.71	3.38				
ストライド標準偏差	0.11	0.08	0.09	0.13	0.09	0.07	0.09	0.13	0.09	0.07	0.08	0.11	n	5C<9C	2C<<9C	5C>9C
変動係数	7.71	4.11	5.71	3.59	6.68	3.62	5.39	3.87	6.44	3.39	4.84	3.17				2C>>9C

単位:m

<:p<0.05 <<:p<0.01

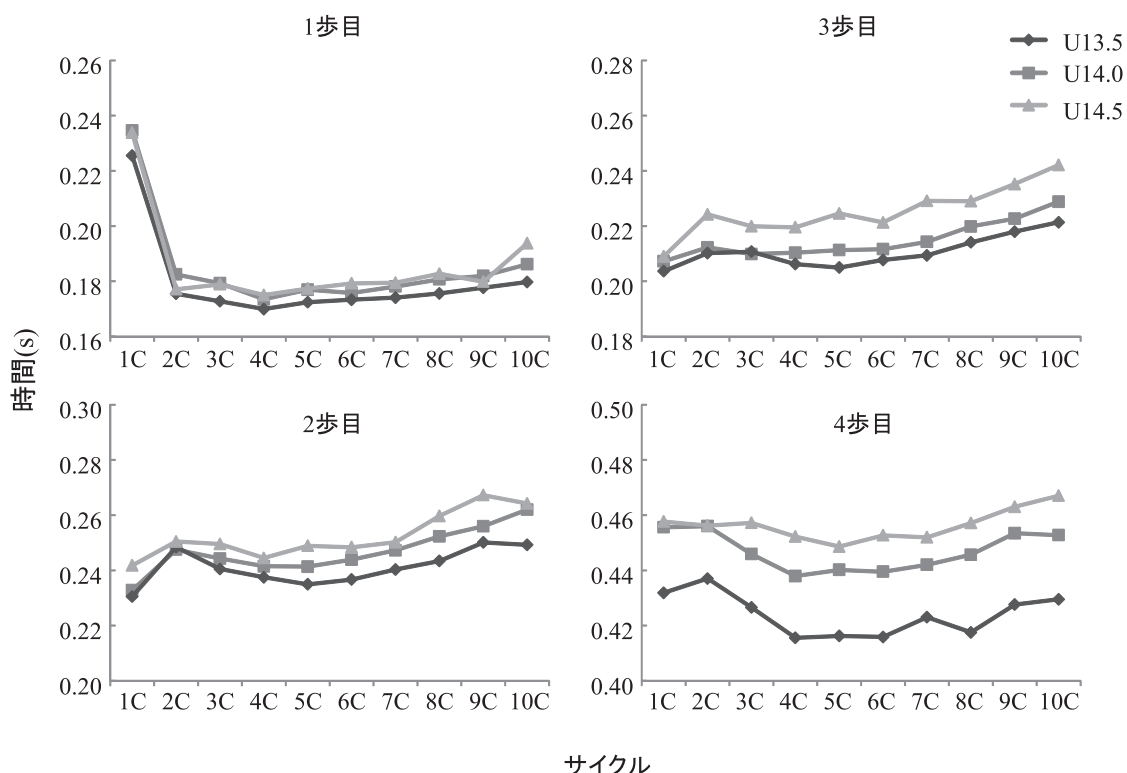


図6 各群におけるステップタイムの変化

た。U13.5が1Cから10Cまで他の2群より有意に小さく ( $p < 0.01$ )、最小ステップタイムから10Cまでのステップタイムの増大が最も小さかった。

2Cにおける3歩目のステップタイムは、U14.5が他の2群より長く、4歩目でU13.5が短かった。5Cと比較すると、その傾向はさらに顕著となり、U13.5は3歩目のステップタイムが最も短くなり、4歩目も短かった。以上のことは、U13.5は3歩目を短くし、かつ4歩目を短くしていたことを示唆している。3歩目ですばやい踏切準備をしつつ、4歩目ではすばやく踏切るだけでなく、加速区間での大きく加速するための強い踏切をできるかが女子100mHにおける高い技術と言えるであろう。

#### IV. まとめ

本研究は、競技会における女子100mハードル走におけるハードルサイクルおよびステップごとの疾走速度の変化を明らかにし、一流女子ハードル選手のレースパターンの特徴を抽出することを目的とした。

その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) サイクル速度の最大値とレース記録の間に非常に高い負の相関がみられた ( $r = -0.964$ ,  $p < 0.001$ )。
- 2) 1Cにおける相対速度はU13.5が他の2群に比べ

有意に小さかった ( $p < 0.01$ )。

- 3) ステップ速度は、U13.5が3Cの2歩目まで、他の2群が2Cの2歩目まで加速し続け、その後、各サイクルにおいていずれの群も1歩目あるいは2歩目で最大となっていた。
- 4) ステップ間の速度変化量は、4歩目から1歩目が他のステップ間よりも大きな正の値を示し、その値は2C、5C、9Cの順で大きかった。
- 5) U13.5は加速区間における1サイクルのすべてのステップで加速していた。
- 6) サイクル内のそれぞれのストライドとレース記録との間に有意な相関はみられなかった。
- 7) ステップタイムは2Cにおいて、3歩目で他の2群よりU14.5が長く、4歩目でU13.5が短かった。その傾向は、5Cでさらに顕著になった。

以上のことから、女子100mHレースでは最高速度出現までの速度増大がレース記録に強く影響しており、速度増大には4歩目から1歩目での加速が大きく貢献すること、速度維持には4歩目での速度の増減が影響していることが示唆された。13秒前半で走るためには、全てのステップタイムを短くしなければならないが、1歩目は加速するための時間を要するため、さらに短くしようとする必要はなく、3歩目のステップタイムを短くすること、そしてハードリングタイムを短くすることができかが課題となるであろう。

## 引用文献

- 樋口 憲生, 湯浅 景元, 松尾 彰文, 福永 哲夫 (1984) 地面反力からみたハードリングの特性, 体育の科学 38, 313-317.
- 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 49, 11-17.
- 伊藤 章, 富樫 勝 (1997) ハードル走のバイオメカニクスの研究: スプリントとの比較, 体育学研究 42, 246-260.
- 串間 敦郎, 小木曾 一之 (1996) ハードル走の踏切動作における速度逓減の要因, 都城工業高等専門学校研究報告 29, 1-6.
- Mcdonald, C. and J. Dapena (1991) Linear kinematics of the men's 110-m and women's 100-m hurdles races, Med. Sic. Sports Exerc 24, 1382-1389.
- 宮下 憲 (2006) 100m ハードルのトレーニングに向けて, スプリント研究 16, 44-55.
- 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, 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編 世界一流競技者の技術, 66-87.
- 柴山 一仁, 川上 小百合, 谷川 聡 (2007) 2007 年世界陸上競技選手権大阪大会における男子 110m ハードル走および女子 100m ハードル走レースの時間分析, 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班報告書 世界一流競技者のパフォーマンスと技術, 86-95.
- 柴山 一仁, 藤井 範久, 阿江 通良 (2011) 一流ハードル選手の 1 サイクル動作に関するキネマティクスの研究, 体育学研究 56 (1), pp. 75-88.
- 谷川 聡, 宮下 憲, 高松 潤二, 安井 年文, 金子 公宏 (2002) ハイハードル走のインターバルランニングに関する研究, スプリント研究 12, 43-53.