

2 0 1 8 年 度 修 士 論 文

3000m 障 害 走 に お け る ハ ー ド リ ン グ 技 術 の
キ ネ マ テ ィ ク ス 的 研 究

Kinematics analysis of two hurdling technics
in 3000m steeplechase

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 コーチング科学研究領域

5 0 1 7 A 0 1 7 - 9

北 本 可 奈 子

Kanako Kitamoto

研究指導教員： 磯 繁雄 教授

目次

I 緒言	1
II 方法	
2-1.対象者	6
2-2.測定条件	6
2-3.用語定義と局面分け	
2-3-1. 動作の定義	8
2-3-2. 動作の記載	8
2-2-3. 分析区間における 3 ストライドの局面分け	8
2-3-4. ハードル局面における区間定義	9
2-4.データ収集	11
2-5. 測定項目およびその算出方法	11
2-6.分析項目	12
III 結果	
3-1. タイム設定区間および分析区間における所要時間	18
3-2. タイム設定区間および分析区間のタイム差	19
3-3. 分析区間における 3 歩の接地時間	20
3-4. 着地局面における滞空時間	21
3-5. 障害物に対する踏切距離および着地距離	22
3-6. 踏切位置と着地位置の相対値	23
3-7. ハードル前期における重心変位	24
3-8. ハードル後期における重心変位	25
3-9. 踏切準備速度および着地速度	26
3-10. ハードル速度	27

3-11. ハードル前期における重心速度の減少	2 8
3-12. ハードル後期における重心速度の増大	2 9
3-13. 着地時における遊脚のスイング角度	3 0
IV 考 察	
4-1. 障害物の疾走タイムに与える影響	3 1
4-2. 障害物を越えるリズム	3 1
4-3. 足かけとハードリングの有効性	
4-3-1. 踏切準備局面	3 2
4-3-2. ハードル局面	3 3
4-3-3. 着地局面	3 4
V 結 果	3 5
VI 参 考 文 献	3 6
VII 謝 辞	4 0

I 緒言

3000m 障害走は、陸上競技の中で最も歴史が浅い種目である。男子 3000m 障害走は、1983 年の世界陸上ヘルシンキ大会から公式種目となり、女子 3000m 障害走は、21 世紀となる 2000 年 1 月 1 日より世界記録として認定された。当時の女子 3000m 障害走の常識は、10'00"以内で走行することが好記録とされていた中で、Hunter(2000)は、男子の記録と比較して女子も近いうち 8'44"まで記録が向上すると述べており、実際に、2018 年 7 月 20 日にモナコで行われた Diamond League で、ケニアの Beatrice Chepkoech が 8'44"32 の世界記録を樹立した(IAAF, 2018)。

3000m 障害走は、3000m 走の中で 28 回の障害物と 7 回の水濠を越えなければならない。また、男女では障害物の高さは異なるが、形状は同一のものが使用されており(図 1)、この高さは 3000m 走の一般的な男女間での走速度の差と身長差を考慮して定められている。男女間での障害物の違いを Hunter(2006)は、障害物および水濠を越える水平速度で比較した。その結果、女子の障害物は男子より低いため、女子は障害物を越える間の水平速度の低減が少ないものの、水濠を越える水平速度は男子より低いことが分かった。また、榎本ら(2017)は、長距離走種目の中で 3000m 障害走は、唯一障害を跳ぶ技術が必要とされるため、他の長距離種目よりも持久力以外の要素が必要とされると述べている。さらに、Hunter ら(2006)は、3000m 障害走は 3000m が発展したもので、3000m 障害走で好記録を出すためには、体力、持久力、コンディショニング、柔軟性、すべての因子が重要であると述べている。このことから、アメリカ合衆国では、3000m 障害走における障害物および水濠に関する研究が多くなされている(Hislop C, 1985: Hunter, 2008 など)。これらの研

究背景から、長距離トラック種目は、アフリカ出身選手が上位を占める中で、2017年ロンドン世界陸上で、男子3000m障害走ではアメリカ出身選手（Evan Jager）が銀メダルを獲得し、女子でもアメリカ出身選手（Emma Coburn, Courtney Freichs）が金・銀のメダルを独占した（IAAF, 2017）。この成果を受けて、3000m障害走は単純な走能力だけではなく、技術的要素がパフォーマンスの大きな決定要因であり、障害物を越える動作を分析することは競技力向上につながるということが明らかになった。

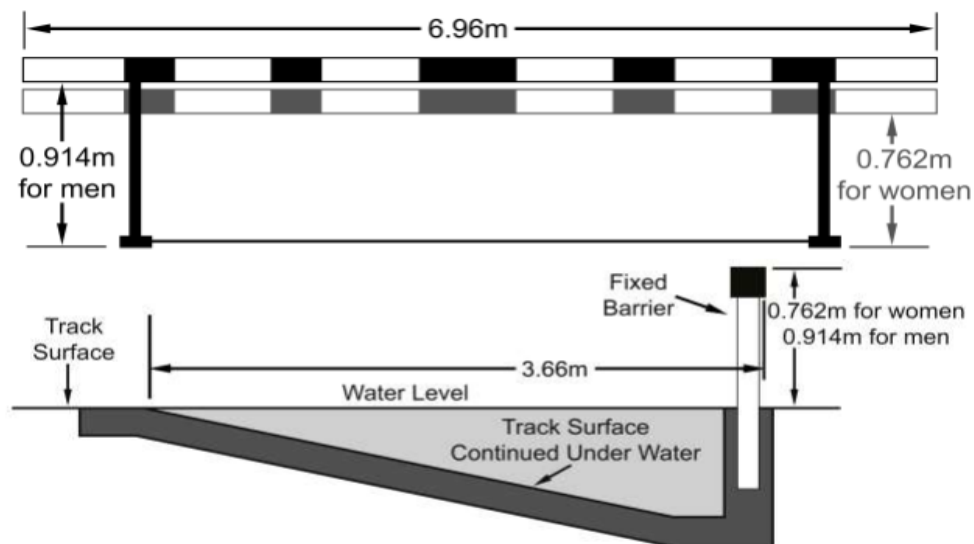


図 1. 障害物および水濠の規格（James,2007 より引用）

3000m障害走の技術に関する研究は、障害物と水濠のそれぞれで行われている。また、3000m障害走は、3000m走に比べてゴールタイムが約30秒遅くなると言われており（Popov, 1983）、このタイムの遅れは障害物による影響がほとんどである。したがって、ハードルを越えることに優れている110mハードル走などのハードル種目の先行研究と比較することは、競技力向上につながると考えられる。

障害物について、Griak(1982)は、3000m 障害走選手は、障害物を越える際にできるだけ身体が鉛直方向に上昇しないように、障害物数歩前で加速すると述べている。また、Hislop(1985)は、男子 3000m 障害走選手の踏切距離および着地距離と走速度の関係を検討した。その結果、踏切距離は走速度と身長によって左右され、障害物から約 1.2m から 1.5m 前で踏切、着地距離は障害物から約 1m 後方であったと報告している。このことから、障害物を越える速度と踏切距離および着地距離には走速度が影響することが分かった。また、中雄ら(2012)は、110m ハードル走の踏切距離とハードリング速度に関して検討した。その結果、踏切距離が短いものほどハードルに対してハードリング時の水平速度が低下すると報告している。このことから、障害物を早く越えるためには、障害物前での速度を増大させ、踏切距離を長くすることが重要であると考えられる。また、James(2017)は、障害物への走速度が増大による踏切時および着地時における地面反力の変化を検討した。その結果、男子 3000m 障害走選手が、走速度が上昇に伴って障害物を高度な技術で超えるには、踏切時の鉛直方向の力が大きくなることと同時に、ハードルを越えるときの水平推進力も増大した。また、着地時の脚に与える衝撃負荷は、走速度が上昇するほど大きくなったと報告している。このことから、走速度を高めることが障害物を越えるうえで重要である一方で、脚への負担が大きく、3000m 障害走は 35 回障害物を越えなければならない、競技力向上には走速度の向上に加えて、衝撃に耐える脚の強化も並行して行う必要があると考えられる。水濠技術に関する研究は、Hunter ら(2006)が水濠における男女間の相違点をバイオメカニクスの観点から検討した。その結果、男女とも 3000m 障害走で水濠を速く通過するためには、水濠の約 2.5m 手前からの走速度の加速および長い着地距離が重要であると

報告している．このことは，水濠においても障害物と同様に，水濠を越える直前の速度が重要であることがわかる．

3000m 障害走に関する研究は，他の陸上競技種目に比べてエネルギーコストやキネマティクス，キネティクスを調査した科学的論文は少なく，3000m 障害走に関する報告の多くは主観的なコーチング戦略としての事例報告である (James, 2017)．国内の 3000m 障害走の研究は，事例研究を除くと，三代ら (2001) の疾走技術に関する分析的研究，城田ら (2015) の走速度変化に関する障害物の影響の検討，榎本ら (2017) の 3000m 障害走における障害前後スピード変化分析のみである．この背景として，3000m 障害走の歴史が浅いことと日本の 3000m 障害走の競技レベルが関係していると考えられる．2017 年シーズンにおける男子世界トップ 10 の選手と男子日本トップ 10 の選手のタイムの平均を比較すると，男子世界トップ 10 の選手は 8'08"01 ($\pm 3.50\text{sec}$) に対し，男子日本トップ 10 の選手は 8'37"93 ($\pm 4.25\text{sec}$) で (IAAF, 2017)，約 30 秒の差がある．日本と世界の競技レベルに大きな差がある要因は，フィジカルや生理的特徴，技術などが考えられる．中でも見てわかる違いは，障害物を越える技術である．世界では障害物に足をのせずに越える（以下，ハードリング）ことが主流であるのに対して，日本では障害物を越える際に，踏切足とは逆の足を障害物の上にのせて越える（以下，足かけ）ことが主流である．

実際のコーチング現場では，足かけとハードリングについて，足かけは障害物にのることで速度が減速しているというデメリットが考えられている一方で，足かけは着地衝撃が緩和され，体力の消耗が少ないというメリットも考えられている．他にもメリット・デメリットについて様々な仮説が立てられており，選手がコーチの主観的感觉によって，動作の

選択をすることは少なくない。しかし、前述した海外で行われている障害物の研究では、ハードリングが研究対象であり、足かけについて言及したものがない。また、日本でも足かけをキネマティクスの観点から研究したものではなく、足かけの動作の実態は明らかにされていない。そのため、ハードリングと足かけのキネマティクスの分析をし、相違点を検証することは日本の競技レベルの向上のために重要であると考え、そこで本学位論文では、3000m 障害走における足かけおよびハードリングの2つの動作をキネマティクスの観点から分析し、相違点を明らかにし、選手及び指導者に、障害技術に関する基礎的資料を提供することを目的とする。

II 方法

2-1.対象者

表 1 には、対象者男子選手 4 名の形態，年齢及び 3000m 障害走自己ベスト（Personal Best：PB）を示した．

表 1 .対象者の形態，年齢及び 3000m 障害走 PB

対象者	身長(cm)	体重(kg)	年齢(歳)	3000m 障害走 PB
A	176	58	21	8'59"87
B	172	57	19	8'50"99
C	168	52	20	8'51"16
D	163	53	19	9'07"78
平均	169.8	55.0	19.8	8'53"45
標準偏差	5.6	2.9	1.0	8"04

2-2.測定条件

測定は，全天候型陸上競技場（3 種公認）にて実施した．測定プロトコルは図 2 に示した．障害物の 15m 手前から 5m 手前までの 10m 間を「タイム設定区間」，障害物前後 5m の 10m 区間を「分析区間」と定義した．タイム設定区間は，対象者の PB を 10m に換算したタイム ± 0.03 秒以内と，2017 年の世界最高記録（World Level：WL）を 10m に換算した 1.60 ± 0.03 秒以内の 2 つを設定した(表 2)．対象者には，それぞれの設定タイムで足かけとハードリングの 2 種類を実施し，4 試技をそれぞれ数回計測した．なお，タイム設定区間を設定の範囲内に通過したもののみ成功試技とした．

The diagram illustrates the experimental setup. A participant is shown walking on a path defined by two parallel horizontal lines. The path is divided into two main sections: a 'タイム設定区間' (Time Setting Interval) of 10 m and an '分析区間' (Analysis Interval) of 10 m. The '分析区間' contains an obstacle (障害物) and is further divided into two 5 m segments by a light pipe (光電管). A camera (カメラ) is positioned below the path, capturing the participant's movement.

表 2. 設定タイム

対象者	PB	WL
A	1.80 ± 0.03	
B	1.77 ± 0.03	1.60 ± 0.03
C	1.77 ± 0.03	
D	1.82 ± 0.03	

7

2-3.用語定義と局面分け

2-3-1. 動作の定義

動作の定義は，障害物に足をのせて越える動作を足かけ（Foot-on：F）とし，障害物に足をのせずに越える動作をハードリング（Hurdling：H）とした（榎本，2017）．

2-3-2. 動作の記載

対象者に行わせた4つの試技の表記は表3である．

表3．4つの試技

	足かけ	ハードリング
自己ベスト	PB-F	PB-H
世界レベル	WL-F	WL-H

2-2-3. 分析区間における3ストライドの局面分け

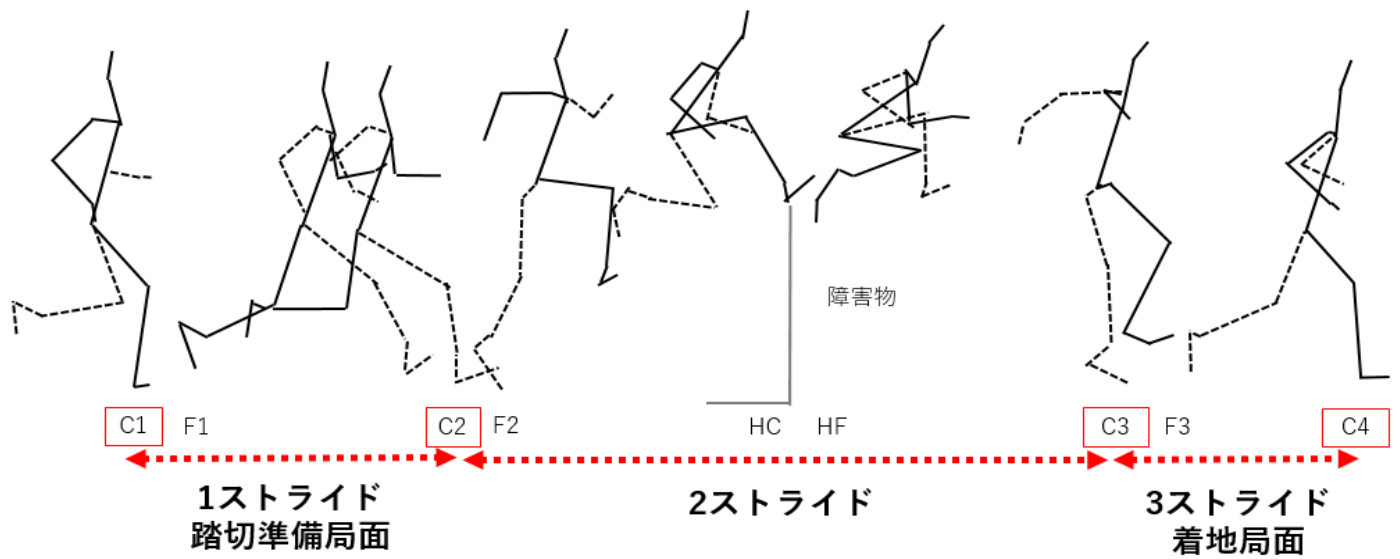
分析区間では，「踏切一步前」，「踏切」，「着地」，「着地一步後」の4歩を分析対象とした．踏切一步前の接地を Contact 1（以下 C1），離地を Flight 1（以下 F1），踏切足の接地を Contact 2（以下 C2），離地を Flight 2（以下 F2），着地足の接地を Contact 3（以下 C3），離地を Flight 3（以下 F3），着地足一步後の接地を Contact 4（以下 C4）とした（図3）．

足かけにおける障害物への接地を Hurdle Contact（以下 HC），障害物からの離地を Hurdle Flight（以下 HF）とした．C1 から C2 までを1ストライド（踏切準備局面），C2 から C3 までを2ストライド，C3 から C4 までを3ストライド（着地局面）とした．足かけは障害物上で接地するが，一連のハードル動作と考え歩数にはカウントしなかった（図3）．

2-3-4. ハードル局面における区間定義

F2 から C3 までを「ハードル局面」とし，F2 から障害物頂点を「ハードル前期」，障害物頂点から C3 を「ハードル後期」とした(図 4).

【足かけ動作】



【ハードリング動作】

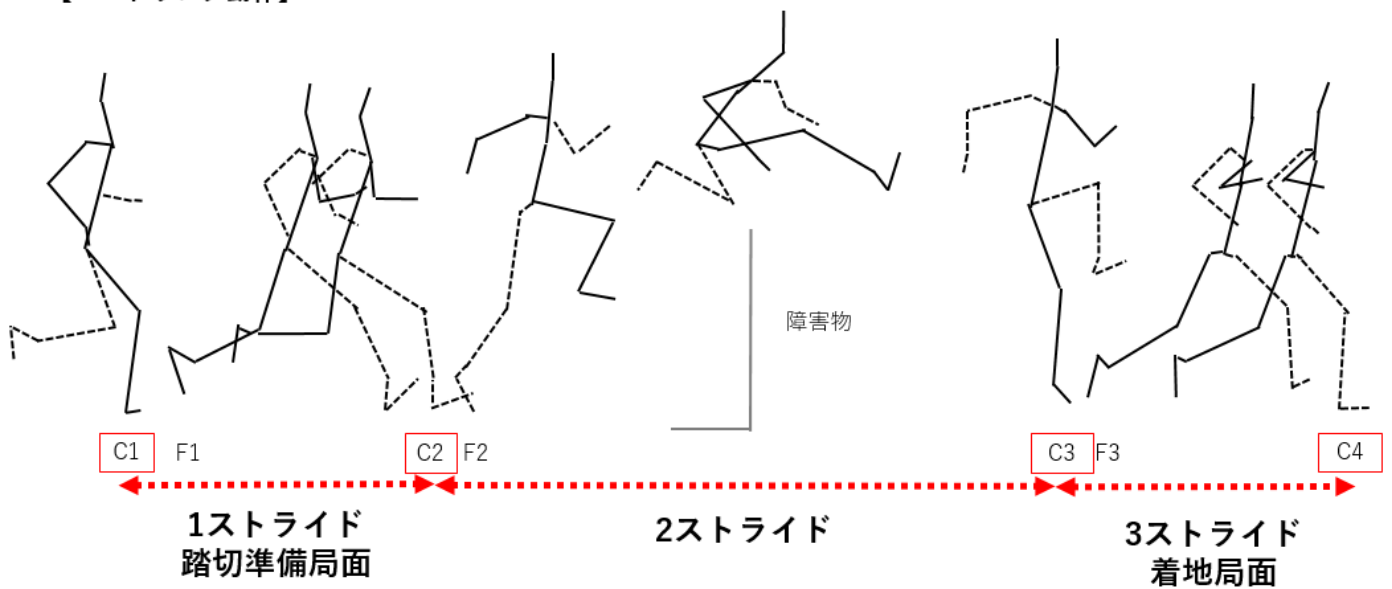
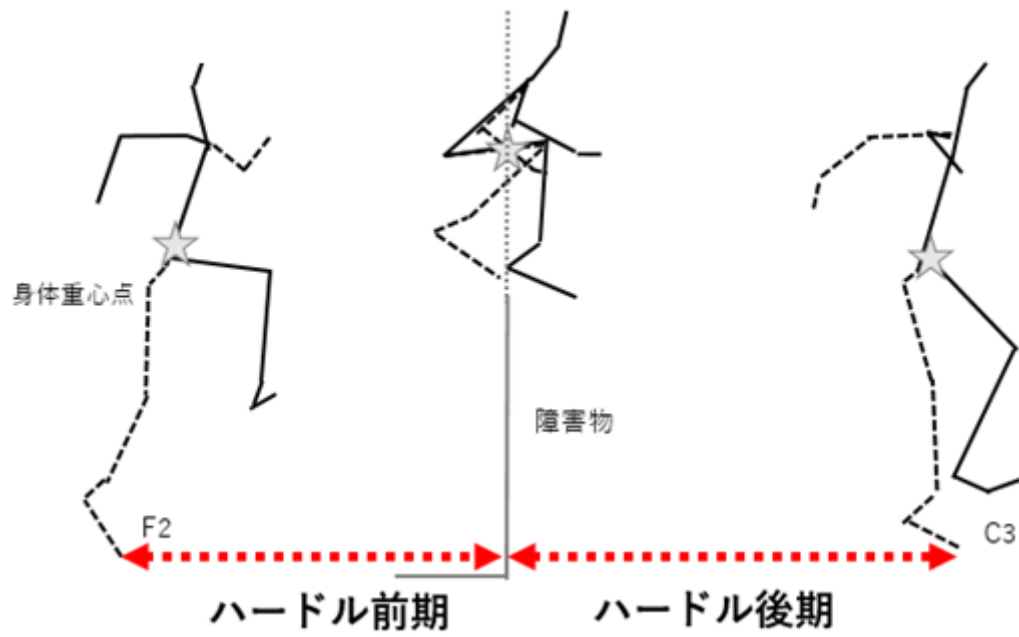


図 3. 分析区間における 3 ストライドの局面分け

【足かけ】



【ハードリング】

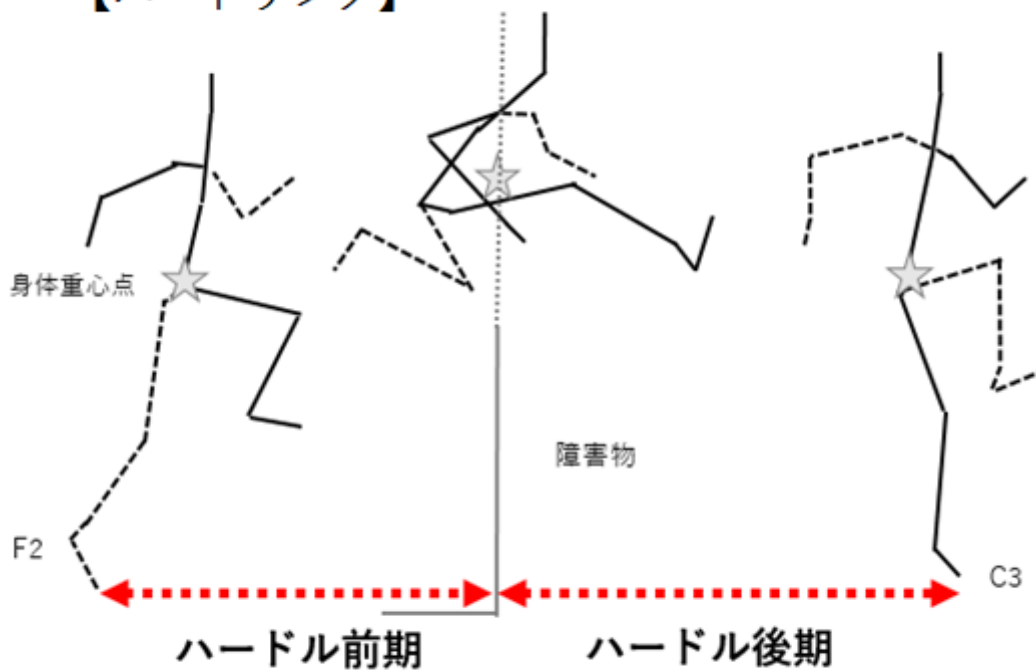


図 4.ハードル局面における区間定義

2-4. データ収集

記録された映像は、ビデオ動作解析システム（DKH 社, Frame-DiasIV）を用いて踏切一步前の接地から 4 歩目の接地までの身体各部位 24 点をデジタイズし、2 次元 4 点実長換算により各分析点の 2 次元座標を算出した。算出した 2 次元座標値は、残差分析法（Winter,1990）により最適遮断周波数を決定し、4 次の Butterworth low-pass digital filter により 3.0～18.0Hz で平滑化した。

2-5. 測定項目およびその算出方法

阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて身体重心の座標を求め、その変位を算出した。また、身体重心が移動した水平距離をそれに要した時間で除すことによって平均重心速度を算出し、走速度として採用した。

2-6.分析項目

(1) 接地時間(sec)

接地時間(Total contact time：Tcon)は，接地足が地面に接地した時間(Contact Time：CT)から，地面から離れるまでの時間(Flight Time：FT)とした(図 5)．算出式は以下の通りである．

$$\text{接地時間(Tcon)} = (\text{FT}) - (\text{CT})$$

(2) 滞空時間(sec)

滞空時間(Total air time：Tair)は，両方の脚が地面に接していない時間である．接地足のつま先が地面から離れた時間(FT)から，その次の接地足が地面に接するまでの時間(CT2)とした(図 5)．滞空時間の算出式は以下の通りである．

$$\text{滞空時間(Tair)} = (\text{CT2}) - (\text{FT})$$

(3) 障害物の接地時間(sec)

障害物の接地時間(Total hurdle contact time：THcon)は，踏切足と逆足が障害物に接地した時間(Hurdle Contact Time：HCT)から，障害物を離れるまでの時間(Hurdle Flight Time：HFT)とした(図 5)．算出式は以下の通りである．

$$\text{障害物の接地時間(THcon)} = (\text{HFT}) - (\text{HCT})$$

(4) 重心移動距離 (CG Length)

重心移動距離 (CG Length) は、接地足が地面に接地した時の重心位置から、次の足が接地した時の重心位置まで水平距離とした。

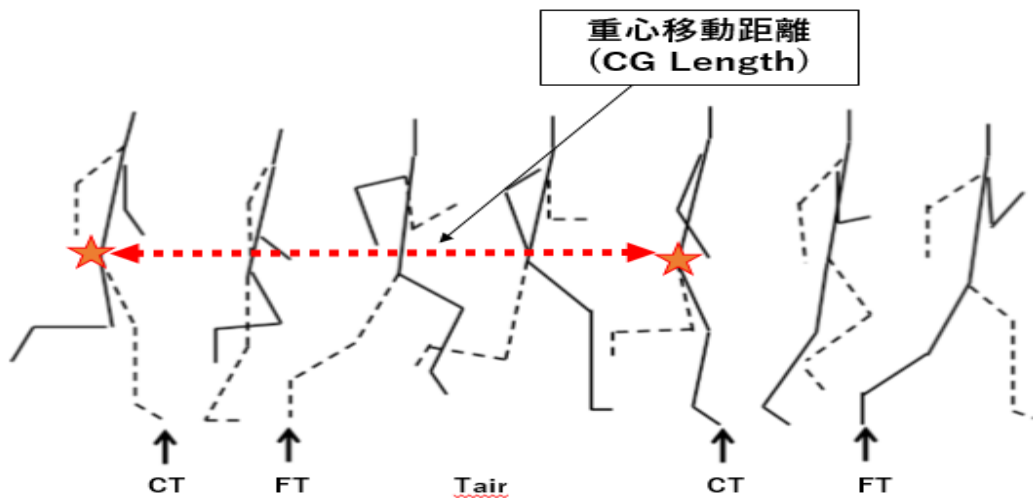


図 5. 接地，滞空，重心移動距離の概略図

(5) 踏切準備速度・着地速度(m/s)

踏切準備速度は、踏切準備局面の CG Length をそれに要した時間で除して算出した(図 6)着地速度は、着地局面の CG Length をそれに要した時間で除して算出した(図 6)。

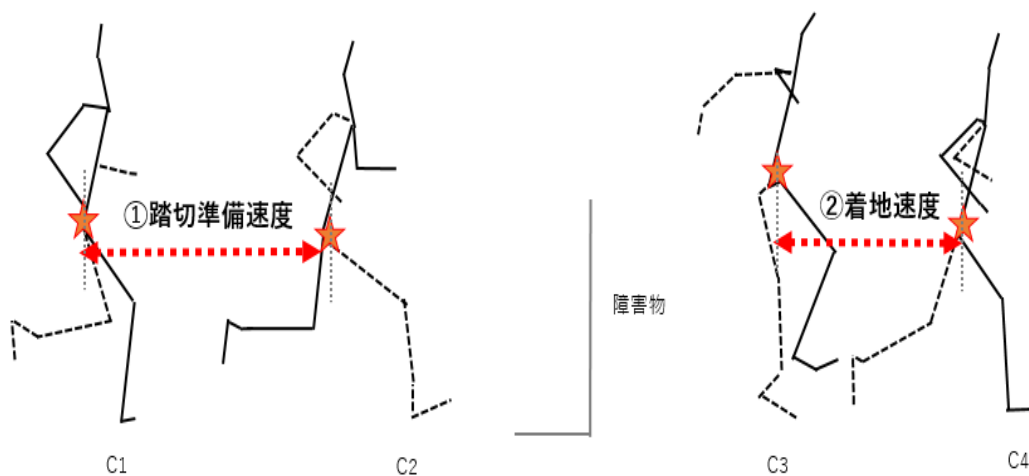


図 7. 踏切準備速度と着地速度

(6) 踏切距離・着地距離(m)

踏切距離 (Flight Distance : FD) は, 踏切足のつま先が地面から離れてから障害物頂点 (Hurdle Top : HT) までの水平距離とした(図 7). 着地距離 (Landing Distance : LD) は, HT から着地足のつま先が地面に接地するまでの水平距離とした(図 7).

(7) ハードル距離(m)

ハードル距離 (Hurdle Distance : HD) は, 踏切足のつま先が地面から離れてから着地足のつま先が地面に接地するまでの距離とした(図 7). 算出式は以下の通りである.

$$\text{ハードル距離 (HD)} = (\text{FD}) + (\text{LD})$$

(8) ハードル前期における重心変位(m)

ハードル前期の重心変位は, 踏切時の重心位置と障害物頂点時の重心位置の差とした(図 7).

(9) ハードル後期における重心変位(m)

ハードル後期の重心変位は, 障害物頂点時の重心位置と着地時の重心位置の差とした(図 7).

(10) ハードル速度(m/s)

ハードル速度は，踏切時の重心位置から着地時の重心位置までの CGLength をそれに要した時間で除して算出した(図 8).

(11) ハードル前期における重心速度の減少(m/s)

ハードル前期の重心速度の減少は，踏切離地時における重心の合成速度と障害物頂点時における重心の合成速度の差とした(図 8).

(12) ハードル後期における重心速度の増大(m/s)

ハードル後期の重心速度の増大は，着地時における重心の合成速度と障害物頂点時における重心の合成速度の差とした(図 8).

(13) 着地脚に対する遊脚のスイング角度(deg)

遊脚のスイング角度は，着地期の鉛直線と遊脚の大腿がなす角と定義し，大腿が鉛直線より屈曲位を(+), 伸展位を(-)とした(図 9).

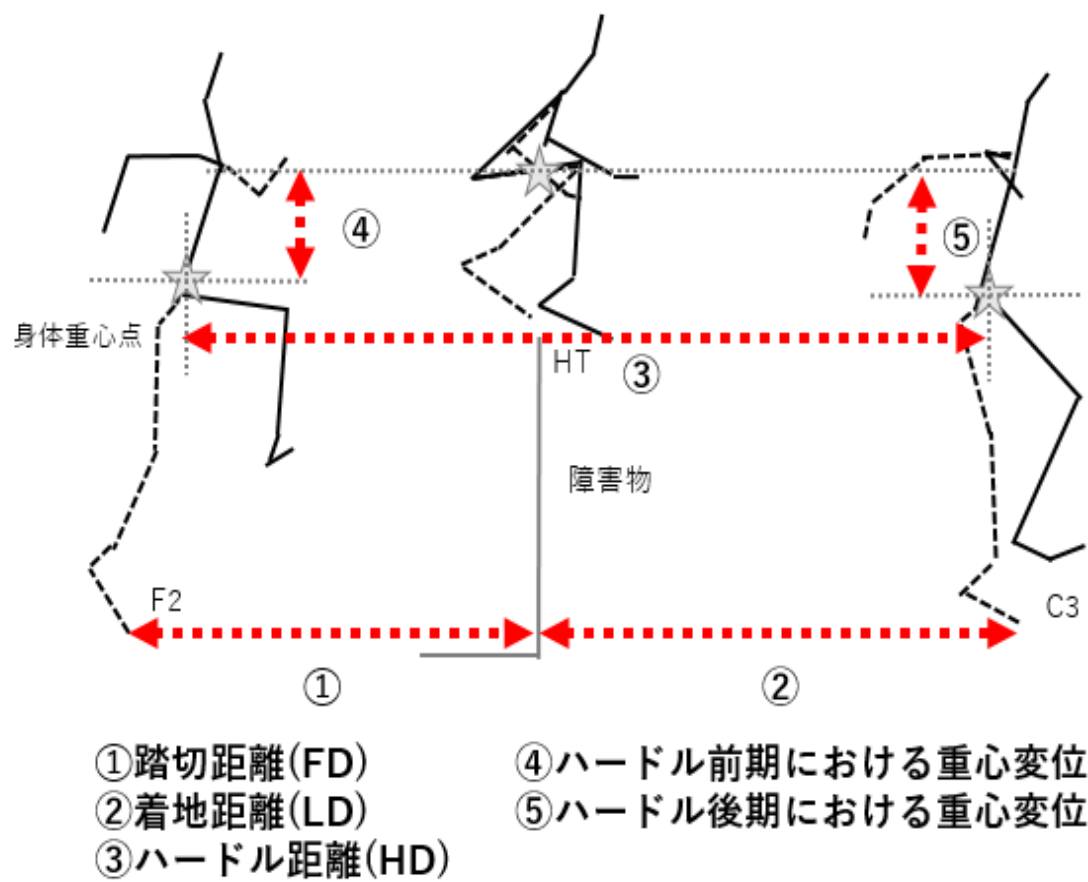


図 7. ハードル局面の距離と変位(m)

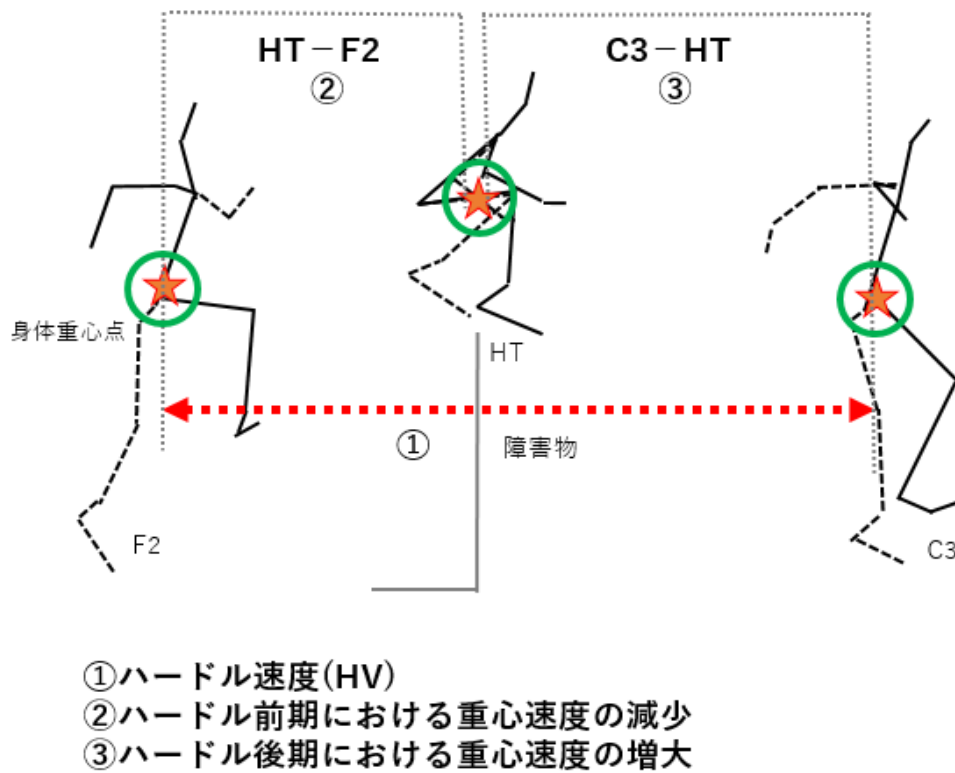


図 8. ハードル局面の重心速度 (m/s)

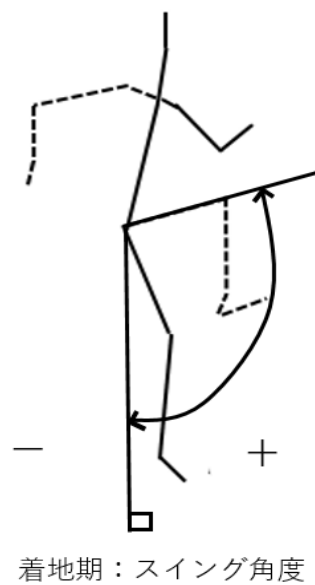


図 9. 着地時における遊脚のスイング角度 (deg)

Ⅲ 結果

3-1. タイム設定区間および分析区間における所要時間

タイム設定区間および分析区間の所要時間について，表 4,5 に示した．
設定タイムには，自己記録の違いとその設定タイムの範囲を設けたため統一していないことがわかる．4名の被験者のタイム設定区間と分析区間では1試技を除いて分析区間が多く時間を要していた．

表 4. タイム設定区間における所要時間

対象者	PB-F	PB-H	WL-F	WL-H
A	1"95	1"85	1"83	1"77
B	1"79	1"75	1"74	1"69
C	2"06	1"92	1"85	1"89
D	1"92	1"97	1"77	1"79
平均	1"93	1"87	1"80	1"79
標準偏差	0"11	0"10	0"05	0"08

(sec)

表 5. 分析区間における所要時間

対象者	PB-F	PB-H	WL-F	WL-H
A	1"81	1"80	1"62	1"63
B	1"77	1"76	1"62	1"63
C	1"79	1"75	1"60	1"62
D	1"82	1"80	1"60	1"61
平均	1"80	1"78	1"61	1"62
標準偏差	0"02	0"03	0"01	0"01

(sec)

3-2. タイム設定区間および分析区間のタイム差

タイム設定区間および分析区間のタイム差は，表 6 に示した．

PB，WL 共に足かけの方がタイム差が大きく，PB に比べて WL の方がタイム差が大きかった．

表 6. タイム設定区間と分析区間のタイム差

対象者	PB-F	PB-H	WL-F	WL-H
A	0"14	0"05	0"21	0"14
B	0"02	-0"01	0"12	0"06
C	0"27	0"17	0"25	0"27
D	0"10	0"17	0"17	0"18
平均	0"13	0"10	0"19	0"16
標準偏差	0"10	0"09	0"06	0"09

(sec)

3-3. 分析区間における 3 歩の接地時間

分析区間における 3 歩の接地時間は，図 10 に示した．

平均接地時間は，すべての試技で 1 歩目(1st)が最も長く，次いで 2 歩目(2nd)，3 歩目(3rd)の順にわずかではあるが，接地時間が減少していた．

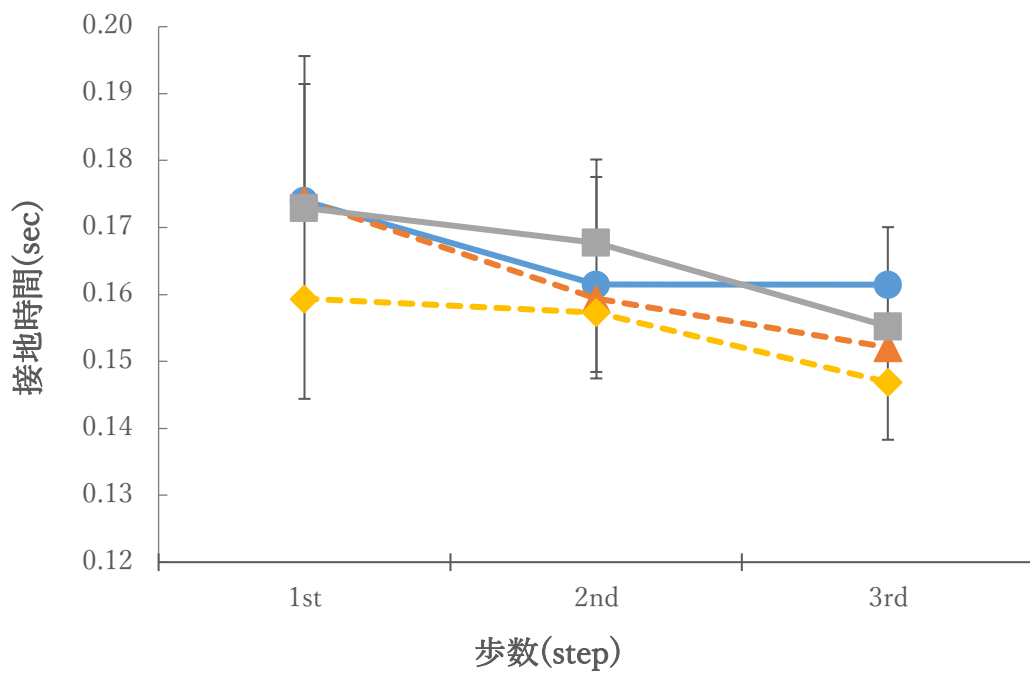


図 10. 分析区間における 3 歩の接地時間 (sec)

● が PB-F，▲ が PB-H，■ が WL-F，◆ が WL-H を示す．

3-4. 着地局面における滞空時間

着地局面における滞空時間は，表 9 に示した．

着地局面における滞空時間は，すべての試技でほとんど見られず，半数以上の試技で，両足接地していた．

表 7. 着地距離における滞空時間

対象者	PB-F	PB-H	WL-F	WL-H
A	-0"01	0"02	0"00	0"02
B	0"00	0"02	0"03	0"02
C	-0"05	-0"03	-0"03	-0"02
D	0"01	-0"01	0"00	-0"01
平均	-0"01	0"00	0"00	0"00
標準偏差	0"03	0"02	0"02	0"02

(sec)

3-5. 障害物に対する踏切距離および着地距離

障害物に対する踏切距離および着地距離は、表 12・13 に示した。

障害物に対する平均踏切距離は、PB では足かけが長かった。WL でハードリングが長かった。足かけは PB, WL で踏切距離が変化しなかった。ハードリングは、PB に比べて WL は長くなっていた

障害物に対する平均着地距離は、PB, WL 共に足かけの方が長かった。PB に比べて WL は長くなっていた。

表 8. 障害物に対する踏切距離

対象者	PB-F	PB-H	WL -F	WL -H
A	1.68	1.55	1.51	1.69
B	1.94	1.71	1.94	1.83
C	1.60	1.61	1.76	1.67
D	1.60	1.77	1.62	1.80
平均	1.70	1.66	1.71	1.75
標準偏差	0.16	0.10	0.18	0.08

(m)

表 9. 障害物に対する着地距離

対象者	PB-F	PB-H	WL -F	WL -H
A	1.64	1.37	1.87	1.47
B	1.73	1.50	1.73	1.66
C	1.71	1.51	1.98	1.38
D	1.86	1.14	1.90	1.36
平均	1.74	1.38	1.87	1.47
標準偏差	0.09	0.17	0.10	0.14

(m)

3-6. 踏切位置と着地位置の相対値

図 11 は，ハードル距離(踏切から着地までの CG Length)を 100%として踏切距離と着地距離を相対値で示した．

足かけは，踏切距離と着地距離が同様かもしくは踏切距離が短く，着地距離が長かった．一方，ハードリングは，踏切距離が長く，着地距離が短かった．

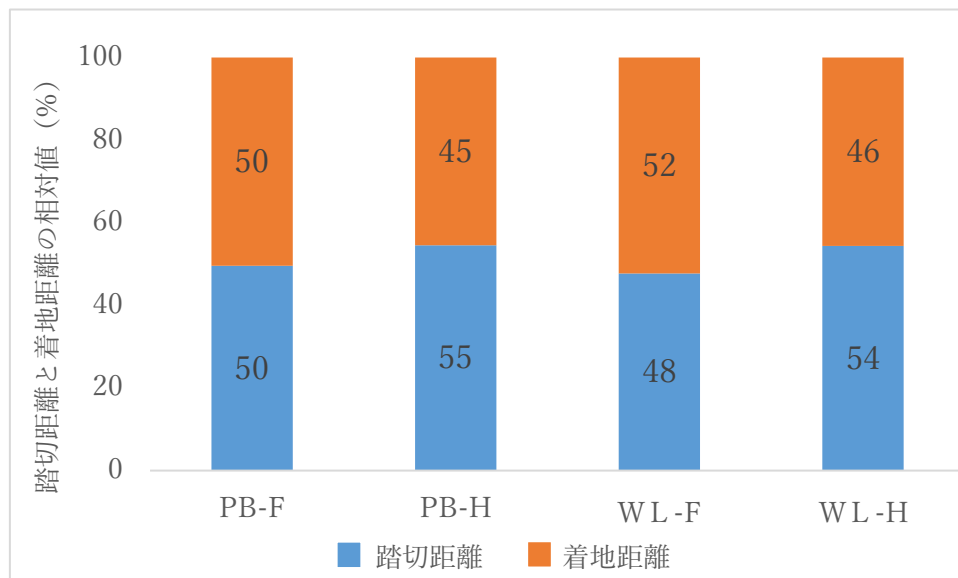


図 11. 踏切位置と着地位置の相対値 (%)

3-7. ハードル前期における重心変位

ハードル前期における重心変位を表 14 に示した.

ハードル前期における重心変位は, PB, WL 共に足かけ動作の方が重心が上昇していた. また, 設定タイムによる重心変位の大きさは変わらなかった.

表 10. ハードル局面前期の重心変位

対象者	PB-F	PB-H	WL-F	WL-H
A	0.35	0.21	0.34	0.27
B	0.32	0.26	0.34	0.29
C	0.39	0.32	0.35	0.26
D	0.36	0.28	0.34	0.26
平均	0.35	0.27	0.34	0.27
標準偏差	0.03	0.05	0.01	0.01

(m)

3-8. ハードル後期における重心変位

ハードル後期における重心変位を表 15 に示した.

ハードル後期における重心変位は, PB, WL 共に足かけ動作の方が大きく重心が下降していた. また, 設定タイムによる重心変位の大きさは変わらなかった.

表 11. ハードル局面後期の重心変位 (m)

対象者	PB-F	PB-H	WL-F	WL-H
A	-0.42	-0.31	-0.41	-0.32
B	-0.42	-0.31	-0.41	-0.33
C	-0.42	-0.38	-0.40	-0.34
D	-0.42	-0.33	-0.46	-0.34
平均	-0.42	-0.33	-0.42	-0.33
標準偏差	0.00	0.03	0.03	0.01

(m)

3-9. 踏切準備速度および着地速度

踏切準備速度および着地速度は，表 16，17 に示した．

踏切準備速度および着地速度は，PB，WL 共にハードリングの方が高い速度であった．また，PB に比べて WL は速度が向上していた．

表 12. 踏切準備速度

対象者	PB-F	PB-H	WL-F	WL-H
A	5.78	5.98	6.15	6.09
B	6.18	6.17	5.26	6.59
C	5.80	6.00	6.35	6.10
D	5.96	5.74	6.40	6.89
平均	5.93	5.97	6.04	6.42
標準偏差	0.18	0.18	0.53	0.39

(m/s)

表 13. 着地速度

対象者	PB-F	PB-H	WL-F	WL-H
A	4.54	5.19	4.96	5.50
B	5.44	5.55	5.42	5.76
C	4.37	4.86	5.07	5.00
D	4.43	4.84	5.14	5.24
平均	4.69	5.11	5.15	5.38
標準偏差	0.50	0.33	0.19	0.33

(m/s)

3-10. ハードル速度

ハードル速度について表 18 に示した.

ハードル速度は, 踏切時の重心位置から着地時の重心位置までの CG Length をそれに要した時間で除して算出した(図 8)

平均ハードル速度は, PB, WL 共にハードリングの方が高い速度であった. また, PB に比べて WL はハードル速度が向上していた.

表 14. ハードル速度

対象者	PB-F	PB-H	WL-F	WL-H
A	5.10	5.21	5.12	5.49
B	5.48	5.62	6.28	5.91
C	4.48	5.04	5.13	5.16
D	4.92	4.86	5.15	5.36
平均	4.99	5.18	5.42	5.48
標準偏差	0.41	0.33	0.57	0.32

(m/s)

3-11. ハードル前期における重心速度の減少

ハードル前期における重心速度の減少は，表 19 に示した．

ハードル前期における重心速度の減少は，踏切離地時における重心の合成速度と障害物頂点時における重心の合成速度の差を表している．

結果は，PB，WL 共に足かけの方が高かった．しかし，WL の足かけとハードリングの速度減少の差は， -0.07m/s でほとんど違いがみられない．

表 15. ハードル前期における重心速度の減少

対象者	PB-F	PB-H	WL-F	WL-H
A	-0.53	-0.28	-0.70	-0.36
B	-0.41	-0.39	0.02	-0.42
C	-1.07	-0.65	-0.73	-0.43
D	-0.53	-0.57	-0.57	-0.48
平均	-0.64	-0.47	-0.49	-0.42
標準偏差	0.30	0.17	0.35	0.05

(m/s)

3-12. ハードル後期における重心速度の増大

ハードル後期における重心速度の増大は，表 20 に示した．

ハードル後期における重心速度の増大は，着地時における重心の合成速度と障害物頂点時における重心の合成速度の差を表している．

結果は，PB，WL 共に足かけの方が高かった．また，PB と比べて WL の方が重心速度の増大が少なかった．

表 16. ハードル後期における重心速度の増大

対象者	PB-F	PB-H	WL-F	WL-H
A	0.49	0.27	0.55	0.20
B	0.42	0.20	-0.05	0.10
C	0.83	0.37	0.63	0.09
D	0.63	0.37	0.38	0.46
平均	0.59	0.30	0.38	0.22
標準偏差	0.18	0.08	0.30	0.17

(m/s)

3-13. 着地時における遊脚のスイング角度

着地時における遊脚のスイング角度は，表 21 に示した．

着地時における遊脚のスイング角度は，PB，WL 共に足かけの方が小さく，タイム設定による角度の変化は見られなかった．

表 17. 着地脚に対する遊脚のスイング角度

対象者	PB-F	PB-H	WL-F	WL-H
A	65.40	103.91	67.35	95.11
B	67.54	113.11	63.15	104.18
C	44.20	82.34	49.49	84.14
D	74.55	84.09	75.43	81.58
平均	62.92	95.86	63.86	91.25
標準偏差	13.08	15.10	10.85	10.43

(deg)

IV 考察

4-1. 障害物の疾走タイムに与える影響

タイム設定区間と分析区間を比較すると、16 試技の中で 1 試技を除いて分析区間が多く時間を要していた(表 4,5)。タイム設定区間と分析区間の相違点は、障害物の有無であることから、障害物を越えるための遅れと考えられ、このことから障害物を越える動作を分析することは競技力向上につながると示唆される。また、タイム設定区間と分析区間におけるタイム差は、足かけ、ハードリング共に WL で大きな差があり(表 6)、これは、対象者が WL の走行は可能としているが、障害物を越える技術が不足していたと推察される。

4-2. 障害物を越えるリズム

110m ハードル走は、接地時間が歩数ごとで大きく異なるため、インターバル走のリズムを擬音語で表すことが多い。その特徴は、「タ・タッ・タ・ターン」というリズムで表現できる(磯, 2002)。また、110m ハードル走で用いられる踏切リズム(タ・ターン)は、走幅跳や走高跳など、跳躍動作が求められる競技の踏切リズムと共通している(吉田, 2018)。

本研究の分析区間における 3 歩の接地時間は、足かけ、ハードリングに関わらず、すべての試技で 1 歩目の接地時間が最も長く、2 歩目、3 歩目と接地時間がわずかではあるが短縮されていた(図 10)。これらの接地時間は「タ・タ・タ」というリズムで表現され、本研究における 1, 2 歩目は、110m ハードル走の「タ・ターン」に相当することから、110m ハードル走とは異なった踏切リズムであることが分かった。このことから、今回の対象者は、障害物前でリズムを変化させず、ランニングのリズム

のまま障害物を越えたと推察できる。このリズムは、今回の対象者が 110m ハードル走にみられる「タ・ターン」とインターバルのリズムを変化させる技術を持ち合わせていないと言える。つまり、ハードル技術が高い 110m ハードル走選手のような踏切リズムを習得することは、3000m 障害走の障害物を越えるための技術力向上に有効な手段と推察される。しかし、3000m 障害走は水濠の位置がトラックの内側（内水濠）か外側（外水濠）かで障害物間のインターバルが異なる（内水濠：78m，外水濠-9 レーン：84.592m，外水濠-8 レーン：84.2m，JAAF，2018）。また，レース全体を通してレースペースに変動があるため，インターバルの歩数やリズムが安定しないと考えられる。一方で，110m ハードル走は，インターバルの歩数が一定であり，歩数を目安にインターバルのリズムを変化させることができる。したがって，3000m 障害走では状況に応じてリズムを変化できるように，あらゆる場面を想定した歩数判断のトレーニングが必要である。また，3000m 障害走と 110m ハードル走では，レースを進める走速度が異なるため，3000m 障害走で応用可能であるかは実践して検討する必要がある。

4-3. 足かけとハードリングの有効性

4-3-1. 踏切準備局面

3000m 障害走における水濠技術に関して Hunter ら(2006)は，水濠を早く越えるためには踏切準備速度を高めることが有効であると報告している。また，110m ハードル走においてもハードルを早く越えるためには踏切準備速度を高めることが重要であるとされている（山田，1990）。これらのことから，障害物による速度減少を防ぐには，踏切準備速度を検討することが重要であることである。

本研究における踏切準備速度は、タイム設定が PB では、足かけおよびハードリングにおいてほとんど差が見られなかった(表 12)。これは、3000m 障害走を 9'00"前後で走行する選手は、動作による違いが見られないと考えられる。一方で、設定タイムが WL になるとハードリング動作が足かけより高い速度を示した(表 12)。したがって、WL で足かけかハードリングかを選択する場合、ハードリングが有効であり、その技術度が競技力向上につながると示唆される。

4-3-2. ハードル局面

ハードル局面での踏切距離とハードル速度について、中雄ら(2012)は、110m ハードル走において、踏切距離が短いものほどハードルに対してハードリング時の水平速度が低下すると報告している。本研究の結果は、設定タイムが WL では、踏切距離とハードル速度との間に同様な傾向が見られた。しかし、PB では足かけ動作が長い踏切距離であったにも関わらず、ハードリングよりハードル速度が遅かった(表 8, 14)。このように、PB で異なった結果を示した要因は、ハードル前期における重心速度の減少が、ハードリングと比べて足かけでは大きかったためと考えられる(表 15)。この重心速度の減少は、障害物に足をのせるために高く重心を持ち上げたことや(表 10)、障害物に接地したことで起きたと推察される。しかし、PB の足かけは、重心速度の減少が大きい一方で、ハードル後期では、ハードリングより重心速度が増大が大きかった(表 16)。このことは、障害物支持期の後半に障害物へ力をあたえてことによる速度上昇が伺える。しかし、本研究では力を計測していないため、さらに分析が必要な研究課題である。また、ハードル後期における重心速度の増大分を差し引いても、ハードル前期における重心速度の減少がハードル

速度に影響を与えていたため(表 14, 15, 16), ハードル前期の重心速度の減少を抑えることが, ハードル速度の向上につながると考えられる.

これらのことから, ハードル前期における重心速度の減少が小さいハードリングが有効であると考えられる.

4-3-3. 着地局面

着地局面における滞空時間は, 16 試技中 7 試技で計測されなかった(表 7). これは, 着地足が離れる前に次の足が接地したため, 両足が地面に接地している時間が存在していたのである. このことは, Kirsten(2006)の行った観察による歩行分析によると, 歩行動作は必ず左右どちらか一方, または両足が地面に接地していることが記されており, 今回の対象者の着地局面に歩行動作があったと言える. 特に, 足かけで両足接地している時間が長かった. これは, 着地時における遊脚のスイング角度が, 足かけがハードリングより小さいことで(表 17), 遊脚と地面までの距離が近いため, 着地足が支持している間に遊脚が接地したためと考えられる. また, 本研究における着地速度について, 対象者 B がすべての試技で他の対象者より高かった(表 13). さらに, 対象者 B はすべての試技で着地局面に歩行動作が見られなかった. このことから, 着地局面における歩行動作は, 着地速度に負の影響を与えると考えられ, 着地速度の向上には, 歩行動作を防ぐことが重要であると推察される. これを受けて, 歩行動作の時間が短いハードリングがメリットであると考えられる. しかし, 本研究では, 着地局面における歩行動作は, ハードリングでも観察されており, また, 足かけとハードリングで歩行動作の有無に法則性が見られなかったため, 今後対象者を増やして検討する必要がある.

V 結論

本研究の目的は、3000m 障害走における足かけおよびハードリングの 2 つの動作をキネマティクスの観点から分析し、相違点を明らかにし、選手及び指導者に、障害技術に関する基礎的資料を提供することであった。明らかとなった知見は以下の通りである。

- 1) PB, WL 共に、分析区間の通過タイム、踏切準備速度、ハードル速度、着地速度で、足かけに比べてハードリングが高い値を示していたことから、ゴールタイムを短縮するためには、ハードリングを用いることが有効であると言える。しかし、3000m 障害走は水濠を含め 35 回の障害物を越えなければならず、足にかかる負荷などキネティクスの分析が必要である。
- 2) 3000m 障害走の踏切リズムは、「タ・タ」というリズムで、110m ハードル走の「タ・ターン」とは異なったリズムであった。このことは、ハードル技術が高い 110m ハードル走選手のような、踏切リズムを習得することが 3000m 障害走の障害物を越えるための技術力向上に有効な手段になる可能性がある。
- 3) 着地局面における歩行動作は、ハードル速度に負の影響を及ぼしていたことから、競技力向上のためには歩行動作を防ぐ必要である。

VI 参考文献

三代澤芳男・有吉正博・繁田進（2001）3000m 障害レースの疾走技術に関する分析的研究．陸上競技研究，46(3)：44-51

城田真裕・前田正登（2015）3000m 障害物競走における走速度変化に関する障害物の影響；1 歩毎の走速度変化からいた検討．陸上競技研究，103(4)：28-36

榎本靖士・関慶太郎・柴田篤・白木駿佑・杉本和那美（2017）3000m 障害における障害前後のスピード変化．陸上研究紀要，13；74-83

Popov T (1983) Hurdling in the steeplechase. *Modern Athlete and Coach* 21(1):17-18

Kenny W, Hodgson J (1985) Variable predictive of performance in elite middle-distance runners. *British Journal of Sports Medicine* 19(4):207-209

Hunter I , Bushnell T (2006) Steeplechase barriers affect women less than men. *Journal of Sports Science and Medicine* 5(2):318-322

McDonald C , 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(12):1382-1391

Ogden. C. L(2004)Mean body weight,height, and bodymass index,United States 1960-2002.Advance Data from Vital and Health Statistics 347:1-8

只隈伸也・佐藤真太郎・川本竜史・稲垣裕太・琉子友男（2015）大学長距離走者における疾走速度の変化による疾走動作の変容.陸上競技研究, 105(4)：12-20

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(2)：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(4)：246-260.

山田憲政・宮下憲（1990）ハードル走における踏切時間を短縮する要因. 体育学研究, 35:53-62

柴山一仁・藤飯範久・阿江通良（2011）一流 110mハードル走選手の 1 サイクル動作に関するキネマティクスの研究：疾走速度および脚長と動作の関連から. 体育学研究, 56：75-88

中雄勇人・岩木佑太・清水堯之・狩野温子・田中慎吾・三澤秀匡・池田あゆ（2012）ハードル走におけるスピード低下の要因分析. 群馬大学教育学部紀要 芸術・技術・体育・生活科学編, 第 47 巻:125-132

Iain Hunter (2000) Determining The Appropriate Specifications For The Women's Steeplechase Water Jump Pit. Track and Field Quarterly Review, 150 : 4799-4801

James Brian Tracy (2017) Ground Reaction Forces Through a Range of Speeds in Steeplechase Hurdling.

Hunter I, Lindsay B, Andersen K (2008) Gender differences and biomechanics in the 3000m steeplechase water jump, Journal of Sports Science and Medicine, 7:218-222

Earl S, Hunter I, Mack GW, Seeley M (2015) The relationship between steeplechase hurdle economy, mechanics, and performance. Journal of Sport and Health Science, 4:353-356

Hislop C (1985) Steeplechase technique. Track and Field Quarterly Review, 85:18-21

Kirsten Götz-Neumann (2006) 観察による歩行分析, 医学書院, 21-23

吉田陽平・藤田育郎・結城匡啓 (2018) 跳躍種目における助走リズムの学習指導に関する検討－走り幅跳びおよび走り高跳びのキネマティクス分析による比較を通して－. スポーツ教育学研究, 38(1) : 39-51

IAAF(2017)Senior outdoor 2017-3000msteeplechase records.

<https://www.iaaf.org/records/toplists/middlelong/3000-metres-steeplechase/outdoor/men/senior/2017?regionType=world&page=1&bestResultsOnly=true>

(2018.11.10, 閲覧)

IAAF(2018) Athlete Profile- Beatrice CHEPKOECH

<https://www.iaaf.org/athletes/kenya/beatrice-chepkoech-293209>

(2018.11.25 閲覧)

VII 謝 辞

本学位論文の作成は、早稲田大学スポーツ科学学術院 礒 繁雄 教授の御指導のもと行われました。同学術院、土屋純教授、彼末一之教授には副査を快諾して頂きました。心より感謝申し上げます。また、対象者として実験に参加して下さった選手の皆様方のご協力にも感謝申し上げます。

また、博士課程の皆様にも大変お世話になりました。樋口研究室の久保さんには、論文作成における用語選択について優しく教えていただきました。土屋研究室の岡部さんには、分析ツールのプログラミングからデータの処理まで、研究における核となる部分を一緒に解析していただきました。彼末研究室の欠畑さんには、入学当初から大変お世話になりました。欠畑さんの言葉はいつも直球で、大学院に入るまで人にきつく言われることがなかった私は、いつも泣いてばかりでした。しかし、欠畑さんがいたからこそ、自分の無力さに気づくことができ、また、精神的に強くなったと思います。本学位論文作成時も欠畑さんの前で泣いてばかりでしたが、欠畑さんがいなければ決して完成することはなかったと思います。心より感謝申し上げます。

私が修士1年生の時、礒研究室には先輩も同期もおらず、スポーツ科学も早稲田についても無知な私は、毎日が不安でした。しかし、今年度は修士課程で野澤さんと吉岡君が来てくれたおかげで楽しい1年になりました。特に、野澤さんは競技者としても人間的にも尊敬できる部分がたくさんあり、多くのことを学ばせていただきました。本当にありがとうございました。

そして、礒先生。初めて礒先生にお会いした時はまだ大学2年生で、

先生からあふれ出るオーラに後ずさりしそうになったことを覚えています。先生から競技の指導を直接受け、先生の考え方をもっと学びたいと思いました。他大学のうえに法学部という畑違いの私を快く引き受けてくださり、磯先生には感謝してもしきれません。常に温かく、時には厳しくもご指導していただいたことに深く感謝申し上げます。

最後に、2年間の大学院生活の中で、大学院に来た理由を見失い、衝突することもありましたが、最後まで支えてくれた両親には必ず恩をお返しします。いつもありがとう。これからもよろしくお願いします。

2018年1月10日 北本 可奈子