

# 博士論文

110m ハードル走におけるハードル接触の実態と関連要因の検討

東京学芸大学大学院 連合学校教育学研究科

健康・スポーツ系教育講座

R18-8001

岩崎 領

配置大学：横浜国立大学

## 目次

<b>第1章 研究背景と目的</b> .....	<b>1</b>
<b>第1節 研究の背景</b> .....	<b>2</b>
第1項 ハードル走の概要 .....	2
第2項 体育教材としてのハードル走 .....	4
第3項 ハードル走における男女の相違 .....	6
第4項 ハードル走における問題点 .....	7
<b>第2節 先行研究の検討</b> .....	<b>10</b>
第1項 110mハードル走のレース分析研究 .....	10
第2項 ハードルクリアランスとインターバル動作に関するバイオメカニクス的研究 .....	11
<b>第3節 研究の目的</b> .....	<b>16</b>
第1項 本研究の目的 .....	16
<b>第4節 研究の方法と構成</b> .....	<b>17</b>
第1項 本研究の目的を達成するための方法 .....	17
第2項 本研究の構成 .....	19
<b>第2章 110mハードル走レース中における接触の影響</b> .....	<b>22</b>
<b>第1節 緒言</b> .....	<b>23</b>
<b>第2節 方法</b> .....	<b>34</b>

第1項	対象およびデータ収集	24
第2項	算出項目	25
第3項	統計処理	26
<b>第3節</b>	<b>結果</b>	<b>27</b>
<b>第4節</b>	<b>考察</b>	<b>31</b>
第1項	110mHレース中のハードル接触の特徴	31
第2項	ハードル接触とレースパフォーマンスとの関係	32
第3項	本研究の特徴と限界点	34
<b>第5節</b>	<b>結論</b>	<b>35</b>
<b>第3章</b>	<b>ハードル接触の原因と影響</b>	<b>36</b>
<b>第1節</b>	<b>緒言</b>	<b>37</b>
<b>第2節</b>	<b>方法</b>	<b>39</b>
第1項	対象者	39
第2項	実験試技	40
第3項	データ収集およびデータ処理	41
第4項	算出項目	42
第5項	統計処理	45
<b>第3節</b>	<b>結果</b>	<b>46</b>
第1項	ハードルクリアランス変数	46
第2項	下肢動作	47

第4節 考察	51
第1項 ハードル接触の原因	51
第2項 ハードル接触の影響	52
第3項 本研究の特徴と限界点	53
第5節 結論	54
第4章 ハードル接触の影響は接触した身体部位により異なるのか	55
第1節 緒言	56
第2節 方法	57
第1項 対象者	57
第2項 実験試技	57
第3項 データ収集およびデータ処理	58
第4項 算出項目	60
第5項 統計処理	65
第3節 結果	66
第1項 ハードルクリアランス変数	66
第2項 下肢動作	68
第3項 ステップパラメータおよび走速度	77
第4項 ハードル接触の程度と減速量の相関関係	80
第4節 考察	82
第1項 ハードルクリアランス変数とステップパラメータ	82

第2項 下肢動作	83
第3項 ハードル接触の程度と減速量の関係	86
<b>第5節 結論</b>	<b>87</b>
<b>第5章 総括</b>	<b>88</b>
<b>第1節 ハードル接触の実態および関連要因について</b>	<b>89</b>
第1項 ハードル接触の実態	90
第2項 ハードル接触の原因と影響	91
第3項 ハードル接触の影響は接触した身体部位によって異なるのか	93
<b>第2節 本研究の成果と課題</b>	<b>96</b>
第1項 ハードル接触の捉え方	96
第2項 競技におけるハードル走指導の留意点	97
第3項 学校体育におけるハードル走学習の指導上の留意点	99
第4項 本論文より期待される波及効果	101
第5項 今後の課題と将来の展望	103
図表一覧	106
参考文献	109
謝辞	116

## 第1章

### 研究背景と目的

## 第1節 研究の背景

### 第1項 ハードル走の概要

陸上競技トラック種目の一つであるハードル走は、一定の距離および高さに設置されたハードルを10台跳び越えながら疾走し、定められた距離に要した時間を競う競技である。ハードル走は、スプリントハードルと呼ばれる男子110mハードル走（以下、110mH）および女子100mハードル走（以下、100mH）と、男女400mハードル走（以下、400mH）の4種目に分けられている。ハードル走は、ハードル間の距離（以下、インターバル）が一定であり、スプリントハードルはインターバルが短く（110mH: 9.14m, 100mH: 8.50m）、400mHは男女ともにインターバルが35mと長いという異なる特徴をそれぞれ有している。スプリントハードルでは、競技レベルに関わらずスタートからゴールまで約50歩と一定であり、特にインターバル走は4歩と一定であることから、ステップ長が制限されることが大きな特徴でもある。そのため、スプリントハードルではレース中に高いステップ頻度を獲得、維持することが重要である（森田ら, 1994；一川ら, 2002）。一方で、400mHはインターバルに要する歩数を調整して、走速度をコントロールしながら戦略的にレースを展開することが求められ、レース前半で獲得した走速度をレース中盤から後半にかけて出来る限り維持することが重要である（森丘ら, 2000；Otsuka & Isaka, 2019）。

ハードル競技者は、レース全体を通して高い疾走速度と同時に優れたハードルクリアランス技術が要求される（Coh & Iskra, 2004；Bedini, 2012；Iskra et al., 2021）。ハードルクリアランスは、先行してハードルをクリアするリード脚と、踏切後にハードル上で側方に旋回運動する抜き脚という左右非対称の動作を行う競技特異的な動作である。スプリントハードルでは、競技レベルに関わらず、ハードルクリアランス前の踏切時に鉛直速度が増加し、それに伴い水平速度が減少する（McDonald, 2002）。そのため、踏切時

にできる限り水平速度を維持することが競技パフォーマンスを向上させるために重要である。また、踏切時に減少する水平速度は、インターバル中のスプリントで回復することが報告されている (McDonald, 2002; 柴山ら, 2011)。したがって、スプリントハードルはハードルクリアランスによる走速度の減少と、インターバル走での走速度の回復を繰り返しながら疾走するという特性を持つ競技であるといえる。このことから、スプリントハードルに関する研究は、踏切動作および着地動作 (山田・宮下, 1990; McDonald & Dapena, 1991a; McDonald & Dapena, 1991b; 森田ら, 1994; 志賀ら, 2003), インターバル走動作 (McDonald, 2002; 柴山ら, 2011; 関ら, 2020) に着目したバイオメカニクス的研究が行われてきている。また、一流競技者は習得した高い技術的能力の再現性があり (谷川, 2006), この技術レベルの高さが一流競技者の特徴でもあるレース中盤までの加速 (森田ら, 1994; 柴山ら, 2019) を可能にしていると考えられる。レースの後半では、競技レベルに関わらず走速度が低下するが、これは疲労の影響だけではなく、技術的能力も影響している可能性が指摘されている (Salo & Scarborough, 2006)。しかしながら、ハードル走における走速度の低下は疲労や技術的要因だけでなく、「ハードルへの接触」という種目特有の要因によって起こることが考えられる。

ハードル接触は、ハードル高が最も高い 110mH (高さ 1.067m) で頻発していることが指摘されているものの (Pollitt et al., 2018), その実態は科学的に検証されていない。また、ハードル接触は一般的にレースパフォーマンスに負の影響を及ぼすと考えられているものの、ハードル接触の影響について言及した研究は Graubner & Nixdorf (2011) と Pollitt et al. (2018) のみである。Graubner & Nixdorf (2011) は、2009 年世界陸上競技選手権大会における決勝レース優勝者は、第 1 ハードルに接触したにも関わらず、自己記録を更新した上で優勝したことを報告している。一方、Pollitt et al. (2018) は、2017 年世界陸上競技選手権大会における決勝レース 8 位の選手が第 8 ハードルを倒したことで、次のハードルまでの所要時間が



0.07 秒遅くなっていたことを報告している。ハードル接触の影響については、以上の 2 つの相反する結果が事例的に示されているのみで、その影響について定量的に示されていない。また、近年では、ハードル接触に関して注目が集まっており (Gonzalez-Frutos et al., 2020 ; Kaisidou et al., 2021 ; Ntolaptis & Panoutsakopoulos, 2021), ハードル走のパフォーマンスを評価する上でハードル接触の影響について考慮すべきであると指摘されているものの、量的データから言及した研究は筆者の知る限り存在しない。ハードル走のパフォーマンスを理解する上で、レース中に頻発しているハードル接触を無視することはできない。定量的分析を行うことで、どのようなハードル接触がレースパフォーマンスに影響を及ぼすかを示すことが可能となる。したがって、ハードル走のパフォーマンス理解を深めるために、ハードル接触について科学的検証を行う必要があると言えるだろう。

## 第 2 項 体育教材としてのハードル走

学校体育では、ハードル走の授業が小学校中学年から取り入れられている (文部科学省, 2018a, 2018b)。中学年では「小型ハードル走」から導入として取り入れられており、高学年では「ハードル走」へと移行し、中学校以降の比較的競技性の高い学習へと段階的に学習が進んでいく。学習指導要領に一貫して記述されているのは、リズムよくハードルを超えていくことである。この技術を習得するためにハードルクリアランス技術に関する指導実践や (郡山, 2000 ; 地曳, 2003 ; 清水, 2008 ; 大塚ら, 2011 ; Otsuka et al., 2015), インターバルに関する指導実践が報告されている (本村, 1999 ; 郡山, 2000, 小川, 2002 ; 木下と清水, 2005)。また、学習指導要領では、ハードル走に求める技術要素としてハードルを低く跳びこえることを挙げている。ハードルを低く跳び越える技術は、競技者にも求められる難易度が高い技術であり (McDonald & Dapena, 1991b ; McDonald, 2002), ハードルクリアランス時間を短縮

させることを目的として指導される技術であると考えられているが（大塚ほか，2011），ハードル走においてハードルクリアランス時間はパフォーマンスに影響を与えないことが競技者に関する研究（森田ら，1994；柴山ら，2010；Tsiokanos et al., 2018），学校体育に関する研究（藤田ら，2009；伊藤，2009）の双方で示されている。したがって，ハードル走において低く跳び越えることは，必ずしもリズムよくハードルを跳び超えるために必要な技術ではない可能性がある。ハードルを低く跳び越える技術は，ハードルの高さやインターバル，教具を工夫することでハードルを低く跳び越える技術の習得は可能であると考えられるが，競技者にも求められるような非常に難易度の高い技術であるため，学校体育における指導上の留意点としての妥当性について検討する必要があると考えられる。

学校体育におけるハードル走では，学習者の半数以上がハードルに対して恐怖感を感じていることが報告されている（松下ら，2012；松本，2018）。その理由には，ハードルの高さや接触による痛み，転倒などが挙げられている。松下ら（2012）は，ハードルの高さに恐怖を感じている学習者に対して，ハードルの高さを低い条件から学習を始めさせ，段階的にハードルの高さを上げていく指導によって学習のつまずきを克服できる可能性があることを示した。また，ハードルに対する恐怖感を低減させるためにハードル走の教材として自作の教具を用いた実践も散見され，阿久津ら（2012）や渡辺（2014）は，ハードル走の初学習者はハードル接触や転倒の恐怖感を感じることから，高さの調節を行えてかつハードルバー素材が柔らかい教具の有効性について報告している。松本（2018）は，ハードルバーがスポンジ素材の柔らかいソフトハードルを使用した授業実践によって，学習者のハードルに対する恐怖感については授業前後で和らぐ傾向にあったものの大きな変化は認められてなかったと報告している。一方で，ハードル走授業に対する好感度が26%から52%へ倍増していたことを報告しており，ハードル走への恐怖感を少しでも低減させることでハードル走学習に関心を持たせることができる可能性を示した。学校

体育における学習者のつまずきの多くは、ハードル接触に伴う痛みや転倒に起因する恐怖心であることから、教具を工夫することで学習者のつまずきを大きく解消することが可能であるだろう。Otsuka et al. (2015) は、阿久津ら (2012) の開発した教具を用いてハードルを高く飛び越える指導法を実践し、ハードルにぶつかることなく安全に高く遠くへ跳ぶ練習を重ねたことでハードル走の技能を高めることができ、記録も向上したことを報告している。この指導法は、ハードル走学習者のつまずきであるハードルへ接触する恐怖感を軽減し、さらに記録が向上するという学習者にとって体育やハードル走学習の楽しさを味わうことのできる有効性を持っている。また、この研究は、体育授業におけるハードル走技術の効率良い習得方法や、学習者のつまずきを解消し、楽しい授業実践が行えるかについて、専門競技者の動作を分析した結果得られたバイオメカニクスの知見をもとに考案している。先述したように、現行の指導案で示されているハードルの遠くから踏み切ることや、低くハードルを飛び越えることといったハードル走の技術は、専門競技者の動作的特徴に類似していると考えられる。言うまでもなく、専門競技者の動作を学校体育において習得させることは非常に困難であるが、競技者の分析から得られた知見は学校体育に反映されていることが窺える。したがって、専門競技者の分析から得られた知見は学校体育においても非常に有益な知見となると言えるだろう。

### 第3項 ハードル走における男女の相違

第1項で述べたように、ハードル走にはスプリントハードルと呼ばれる男子 110mH および女子 100mH と、男女 400mH の4種目が存在する。スプリントハードルにおける男女の相違点はインターバル距離とハードル高にあるが、大きな相違点はハードル高である。インターバル距離では、110mH は 9.14m、100mH は 8.50m と 0.64m の差があるものの、ハードルクリアランスを除いた距離は男女ともに 5.3m~5.4m

程度である（谷川と柴山，2010）。一方，ハードル高について，110mH は 1.067m，100mH は 0.84m と 0.227m の差がある。ハードルを跳び超えるためには，身体重心高をハードルよりも上昇させる必要があり，この身体重心を上昇させるために発生する鉛直速度の増加を抑えることがより良いハードルクリアランス技術であるとされている（山田，1990；McDonald & Dapena, 1991b；McDonald, 2002）。立位姿勢時の地面から見た身体重心の高さは，約 54～56%の位置にあるとされており（阿江と藤井，2002），これをもとに計算すると女性は 1.53m の身長があれば，身体重心がハードル高と同じになる。したがって，女性選手はハードルをクリアするために身体重心高を上昇させる幅は小さく済む（McDonald & Dapena, 1991b）。一方，男性は立位姿勢時でハードル高と同じ身体重心高になる身長は 1.91m であり，求められる身体特性は男性が相対的に高いと言える。このことから，100mH 選手は 110mH 選手よりも疾走能力がレースパフォーマンスに強く影響することが示されている（森田ら，1994；谷川と柴山，2010）。また，110mH はハードル高が高いことから，リード脚をクリアするための空間的余裕がハードルクリアランス前半に必要となるため，ハードルから遠い位置で踏切を行う必要があると指摘されている（McDonald & Dapena, 1991b）。さらに，110mH はハードル高が高いため，ハードル接触が頻発するとされているが（Pollitt et al., 2018），100mH ではこのような指摘は見受けられない。以上のことから，ハードル走における男女の大きな相違点はハードル高であり，これに起因して疾走能力がパフォーマンスに占めるウェイトや技術的要因が異なっていると言えるだろう。

#### 第4項 ハードル走における問題点

これまで述べてきたように，ハードル走は疾走動作と競技特異的なハードルクリアランス動作を繰り返す技術的難易度の高い種目である。そのため，ハードルクリアランス動作に着目した研究が多く行わ

れてきた。しかしながら、学校現場および競技現場におけるハードル走で避けられない課題であるハードル接触についてその実態や発生要因、影響を検討した研究は存在しない。一般的に、ハードル接触は、レースパフォーマンスや接触後の動作に悪影響を与えられている。ハードルクリアランス中は、身体に外力が作用しないためハードルに物理的に接触することで進行方向と逆向きの力が身体に作用し、走速度の低下や身体バランスを崩すなどの影響があると考えられる。しかし、これを科学的に検証した研究は存在しない。Graubner & Nixdorf (2011) と Pollitt et al. (2018) は、事例的にハードル接触の影響について言及しているが、相反する結果が報告されており、検討の余地が残っている。また、ハードル接触の原因については、物理的な観点からハードルに近い位置で踏み切ることや踏切角度が小さいことであるとされているが、科学的に検証されていない。学校体育のハードル走では、ハードルへの恐怖感が学習上のつまずきとなっているため(松下ら, 2012; 松本, 2018)、ハードル接触を避け、児童・生徒の技術や興味関心が高まるような指導実践を行う必要がある。従って、ハードル接触の原因となりうる動作要因をバイオメカニクスの観点から客観的に検討し、その知見をもとに学校体育における指導上の留意点に対する提言を行うことで、学校体育におけるより良いハードル走実践につながるだろう。学習上のつまずきを誘発するような技術の獲得を目指している学習について、バイオメカニクスの観点から客観的に再考する必要があると考えられる。

以上のことから、学校体育および競技現場の双方においてハードル接触の実態や発生要因およびハードル接触の影響について明らかとなっていない現状で指導実践が行われており、科学的根拠に基づいた指導は達成されていない。したがって、ハードル接触の実態や発生要因とその影響については、検討する余地があると言えるだろう。本研究では、これらの要因について競技者を対象に検討していくが、学校体育と競技現場ではハードル接触の実態や発生要因およびその影響は一致しない可能性があり、一概

に比較することはできない。しかしながら、学校体育におけるハードル走学習では、ハードルに対する恐怖心から十分な疾走速度を獲得できずに、ハードル手前で大きく減速し高跳びのようにハードルを跳びこえる動作やハードルを飛び越えられないケースが報告されている（松下ら，2012）。したがって、学校体育におけるハードル走を対象とした分析では、ハードル接触の実態を明らかにすることが困難であることが予想される。加えて、競技者の分析結果が学校体育に反映されている現状を鑑みると、競技者を対象とした研究から獲得されるハードル接触に関する基礎的な知見は、学校体育にも貢献できる有益な知見となるだろう。

## 第2節 先行研究の検討

### 第1項 110mハードル走のレース分析研究

陸上競技のトラック種目では競技者のレースパターンを明らかにするためにレース分析が行われている。110mHでもレース分析は多く行われており、スタートから第1ハードル着地までの時間であるアプローチタイム、ハードルの着地から次のハードルの着地までの時間であるタッチダウンタイム、第10ハードル着地からゴールまでの時間であるランインタイムが多くの研究で報告されている (Susanka et al., 1988; 森田ら, 1994; Muller & Hommel, 1997; 柴山ら, 2010; Graubner & Nixdorf, 2011; Tsiokanos et al., 2018; Pollitt et al., 2018; 柴山ら, 2019)。これらの研究の多くは、世界大会を対象として分析しているため、事例的な報告も多いものの、一流競技者のレースの特徴を明らかにしている。

柴山ら (2010) は、世界陸上競技選手権大阪大会を対象とした分析を行っており、レース記録との相関が高かった変数として、レース中の最高走速度、平均インターバルタイム、最小インターバルタイムを挙げている。また、ハードルクリアランスタイムはレース記録と相関関係になかったことを報告している。Tsiokanos et al. (2018) は、柴山ら (2010) の報告と同様に一流競技者におけるハードルクリアランスタイムとレースパフォーマンスとの間には有意な関係が存在しないことを示した。さらに、一流競技者のレースパターンには共通項があり、インターバルタイムはレースパフォーマンスの70%を占めていることを報告している。柴山ら (2019) は、競技パフォーマンスごとに上位群 (12.94秒—13.38秒)、中位群 (13.40秒—13.68秒)、下位群 (13.70秒—14.14秒) に分けて、各インターバルタイム、平均区間速度、ピッチ 相対区間速度、区間速度変化率との関係を検討し、競技パフォーマンスが高い群ほど各区間タイムが短く、平均速度が高かったことを報告している。

以上のことから、110mHにおいてレースパフォーマンスを向上させる要因は、インターバルタイムを短縮し走速度を高めることであり、その速度をレースの中盤まで維持することであることが示されている。しかしながら、レース中に頻発しレースパフォーマンスに負の影響を与えると指摘されるハードル接触の影響は検討されておらず、具体的な影響は不明である。ハードル接触について触れている先行研究では（Graubner & Nixdorf, 2011; Pollitt et al., 2018）、相反する結果が事例的に報告されるにとどまっており、科学的根拠は希薄である。ハードル走に特有のパフォーマンス関連要因であると考えられるハードル接触について、その特徴と影響を明らかにすることは、110mHのレース分析やパフォーマンス評価を行う上で必要不可欠であるだろう。

## 第2項 ハードルクリアランスとインターバル動作に関するバイオメカニクス的研究

110mHのバイオメカニクス的研究では、主にハードルクリアランス動作とインターバル動作について着目した研究が行われてきた。ハードルクリアランス動作は、左右の脚が非対称的な動作を行う特徴を有している競技特異的な動作である。一方で、インターバル動作はスプリント動作と類似しており（伊藤と富樫, 1997）、左右の脚が対称的な動作を行う。110mHでは、対称的動作であるスプリント動作と、非対称的動作であるハードルクリアランス動作を交互に繰り返しながら疾走する技術的要求が高い種目である（Coh & Iskra, 2012）。この特異的な種目特性から、110mHでは高い疾走能力に加えて、その疾走能力を活かせる優れたハードルクリアランス動作が、重要なパフォーマンス向上要因であることが指摘されている（Bedini, 2012）。

森田ら（1994）は、世界一流選手と日本人選手の動作の違いを2次元分析から報告している。結果、日本人選手の踏切動作は膝関節の屈曲伸展を主としていたのに対し、世界一流選手は踏切局面中に膝関



節が屈曲し続けていたことを明らかとした。この動作は、世界一流選手と比較し、身長が低い日本人選手がより身体重心を上昇させるために行なっていた戦略であったことが指摘されている。1.067mの高さがあるハードルを跳び越えるために身体重心高を上昇させる必要がある。そのため、踏切時には鉛直速度を高めることが必要となるが、これに伴い水平速度は減少する (McDonald & Dapena, 1991b; McDonald, 2002)。パフォーマンス向上のためには、踏切時の水平速度をできるだけ抑えることが重要であると指摘されており (McDonald, 2002)、山田 (1990) は、踏切中の水平速度の減少量が大きくなるほど、踏切離地時の鉛直速度が大きくなると報告している。Salo et al. (1997) は、4つの異なる競技レベルの競技会に出場した選手を対象に3次元動作分析を行い、競技レベルの高い選手の方が、身体重心の速度ベクトルがより水平になっていた、すなわち低い踏切角度でハードルクリアランスに向かっていったことを明らかとした。また、身体重心の最大高が出現するのは、踏切から着地までの水平距離のおおよそ55%の位置であったことを報告している。さらに、男子選手がハードルクリアランスするためには、約1.7m/sの鉛直速度が必要であることを明らかとした。以上の報告から、競技レベルの高い選手は、低い踏切角度でハードルクリアランス動作を行うが、これは比較的身長が高い世界一流競技者に特有の動作である可能性が考えられ、日本人選手のように比較的矮身長競技者は、身体重心を上昇させるための動作を行なっていることが示されている。また、この動作は踏切時に水平速度を失う動作になるため、日本人選手が世界一流競技者に近づくためには、ハードルをクリアするために必要最低限の踏切角度とし、水平速度をできる限り維持することが重要であると考えられる。

ハードルクリアランスの踏切および着地局面中の地面反力について、水平速度を維持するためには踏切および着地局面に要する時間、特にブレーキ時間を短くすることで、減速力積を小さくすることが重要であるとする報告が散見される (LaFortune, 1988; McLean, 1994; Coh, 2004)。これらの報告は、いずれ

も事例的な報告に留まっているが、Nagahara et al. (2021) は、11名のハードル選手を対象に、60mH走中の地面反力を54枚のフォースプレートを用いて測定し、踏切および着地局面だけでなく、インターバルランに要する4歩の地面反力成分の詳細を明らかとした。結果、踏切準備ステップでは他のステップよりもブレーキ力積、有効鉛直力積、平均ブレーキ力、平均有効鉛直力が小さい特徴を有していた。これは、ハードルクリアランスに向けた準備動作を反映していると考えられ、身体重心を下げている可能性が指摘されている。ハードルクリアランスステップでは、負のブレーキ力積および平均ブレーキ力が大きく、推進力積と平均推進力が小さく、結果的に正味の前後力積と平均前後力が負になる特徴を有していた。着地ステップでは、リカバリーステップより有効鉛直力積が小さく、リカバリーステップでは推進時間が長く推進力積が大きいという特徴が有していた。以上のことから、110mH走中の地面反力成分はそれぞれのステップの役割を反映しており、大きな減速が発生する踏切および着地ステップの減速力積を小さく抑え、インターバル中に走速度を高める役割を担うリカバリーステップにおいて推進力積を大きくすることがパフォーマンス向上には重要であると考えられる。

110mHにおけるバイオメカニクスの研究は、インターバル走の1サイクル動作についても行われている。1サイクル動作は、着地ステップ、リカバリーステップ、踏切準備ステップ、ハードルクリアランスステップに一連の連続動作のことである(図1-1)。この1サイクル動作の各歩には、固有の役割が存在している(McDonald and Dapena, 1991b; McDonald, 2002; 柴山ら, 2011)。McDonald and Dapena (1991b) は、1サイクル動作中のキネマティクス分析を行い、各歩のキネマティクス変数を比較検討している。結果、踏切時に鉛直速度が増加し、これに伴い増加水平速度が減少すること、この水平速度の減少は主に2歩目で補償されていることを明らかとした。また、ハードルクリアランス後の身体重心高の下降は、2歩目まで続くことを明らかとした。伊藤と富樫(1997)は、ハードル走速度と有意な相関関係にあっ

た項目が踏切動作と着地動作に多く見られたことから、ハードルクリアランス動作、特に踏切前の踏切脚腿上げ速度、股関節屈筋群の仕事量と平均パワーを高くし、踏切脚接地瞬時の身体重心水平速度の減速を抑えることが重要だと指摘した。McDonald (2002) は、1 サイクル動作中の各歩の役割について言及しており、"Hurdling is Not Sprinting"と主張している。着地ステップでは、支持期中の身体重心の下降が起きる特徴を有しており、この下降を小さく抑えることが重要であることを示した。続くリカバリーステップでも、身体重心の下降が続くが、支持期にエキセントリックな筋収縮によって踏切時に減少した水平速度を補償する役割を担っている。次のステップは、踏切準備ステップであり、ハードルクリアランス動作の準備動作として、体幹の前傾や遊脚のスイングを小さくするなどの動作を行う役割を担っている。ハードルクリアランスステップでは、ハードルを超えるために鉛直速度を高めつつ、可能な限り水平速度の減少を抑えることが重要となるステップである。柴山ら (2011) は、1 サイクル動作のキネマティクスの特徴と疾走速度および脚長の関係について検討している。結果、リカバリーステップでは疾走速度の高い選手ほど踏切脚の大腿の動作範囲を小さくし、高いピッチで疾走していたことを明らかとした。また、踏切準備ステップにおいて、脚長の短い選手は4歩目接地直後の鉛直地面反力を大きくするための踏切準備動作を行っていたことを示唆している。先述したように、各ステップの役割は地面反力成分にも反映されており (Nagahara et al., 2021)、パフォーマンス向上のためには各歩の役割を理解し、踏切および着地動作での減速を小さくし、リカバリーステップにおいてスプリント動作に類似した動作でピッチを高めることで水平速度を獲得することが重要であることが示された。

上述してきたように、ハードルクリアランス動作やハードルクリアランス動作を含めたインターバル中の1サイクル動作に関するバイオメカニクスの研究は多く行われてきており、より高いハードル走パフォーマンスを達成するための知見が蓄積されている。

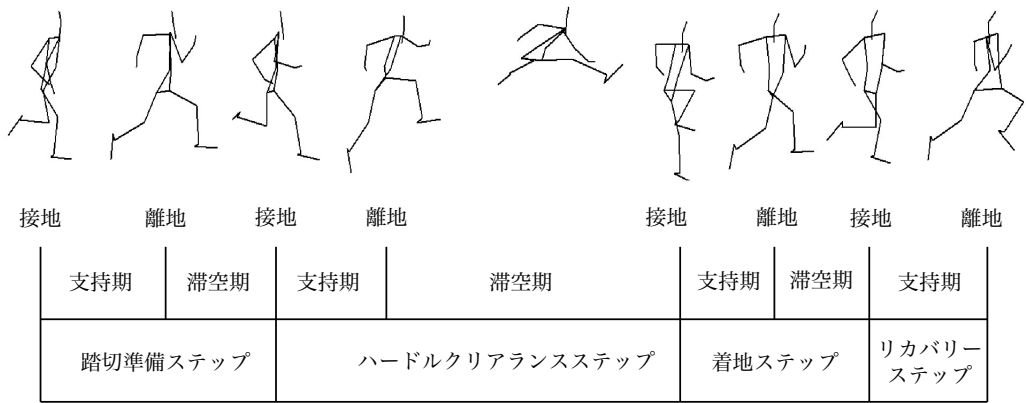


図 1-1 ハードル走における 1 サイクル動作の定義

### 第3節 研究の目的

#### 第1項 本研究の目的

本研究では、110mHにおけるハードル接触の実態と、発生要因や具体的な影響に関するバイオメカニクスの特徴を明らかとすることを目的とする。これを達成するために、1) レース中のハードル接触の特徴を明らかにすること、2) ハードル接触に関連するキネマティクス要因を検討すること、3) ハードル接触の影響は接触の程度や接触した身体部位によって異なるのか調査すること、以上の3つを課題として設定した。本論文の特色は、レース中に頻発することが認識されているにも関わらず、これまで110mHに関する研究で言及されてこなかった「ハードル接触」に着目し、「どのような動作が原因でハードルに接触するのか」、「ハードルに接触した後の影響はどの程度か」について、定量的に示すことである。

## 第4節 研究の方法と構成

### 第2項 本研究の目的を達成するための方法

ハードル接触は110mHレース中に頻発すると指摘されているものの (Pollitt et al., 2018), 定量的に示されたデータは存在しないため, その実態は不明である。また, ハードル接触の影響については事例的報告に留まっており (Graubner & Nixdorf, 2011; Pollitt et al., 2018), ハードル接触の原因については検討されてきていない。そこで, 本研究の目的を達成するためには, 定量的手法を用いて, ハードル接触の実態, ハードル接触に関連する動作要因の調査を行う必要がある。

本研究の課題としてあげた, 第一の課題であるレース中のハードル接触の特徴について, レース中には発生しているハードル接触はどのような特徴があり, どの程度発生しているのかについて検討する必要があると考えられる。110mHにおいてハードル接触が頻発していることは競技者や指導者に認識されているものの, その実態を調査しなければハードル接触に関する研究を行う意義が見出せず, 関連分野での発展も望めない。したがって, レース中のハードル接触の特徴を定量的に示すことは本研究でまず検討すべき事項である。

第二の課題であるハードル接触に関連するキネマティクス要因の検討について, 特にハードル接触に関連するキネマティクス要因について, これまで検討されておらず科学的根拠が希薄である。McDonald & Dapena (1991b) は, ハードル競技者はハードルへの接触を避けるために特定の動作パターンをとっていると述べているものの, その具体的な動作については言及していない。ハードルへの接触は, 学校体育においては学習の妨げになる, 競技現場においてはレースパフォーマンスが低下する可能性があるといった負の影響が指摘されているため, 避けるべき事象であるが, その発生要因が不明ではハー

ドル接触を避けるための動作改善や指導を行うことは非常に困難である。そこで、ハードル接触の原因を定量的解析によって示すことで一定の指導効果を挙げるための知見を得ることができると考えられる。

第三の課題であるハードル接触の影響は接触の程度や接触した身体部位によって異なるのかを調査する点について、ハードル接触は身体のバランスを崩すことに繋がることからレースパフォーマンスに負の影響を与える可能性が指摘されているが (Salo & Scarborough, 2006), ハードル接触について言及した事例報告ではレースパフォーマンスに対する影響は一致した見解が得られていない (Graubner & Nixdorf, 2011 ; Pollitt et al., 2018)。これらの研究では、ハードル接触の程度や接触した身体部位について言及されていないため、これらを定量化することでハードル接触の影響をより具体的に説明することが可能になる。

以上のことから、本研究では定量的手法を用いて、ハードル走におけるハードル接触の実態と関連要因について検討するために、定量的手法を用いた一連の研究を実施した。本論文の成果により、ハードル走のパフォーマンスを理解する上で重要な要因であるハードル接触に関する知見が深まり、ハードル走に関する研究の発展が期待される。また、すでに本研究の一部は、国際雑誌数編に引用されており (González-Frutos et al., 2020 ; Kaisido et al., 2021 ; Ntolaptsis & Panoutsakopoulos 2021), 派及効果を及ぼしている。これまで感覚的に捉えられてきたハードル接触について定量的なデータで検証し、その原因や影響について検討する点は学術的独自性を有しており、科学的根拠に基づいたトレーニング実践やより深くパフォーマンス構造を理解することが可能となる。また、本研究の成果は学校体育における指導技術の再考に貢献する知見となることが期待される。

## 第2項 本研究の構成

本研究は、3つの研究から構成されている。以下に、研究ごとの目的および限界点について述べる。

### 研究1 (第2章)

110mH レース中におけるハードル接触の特徴とレースパフォーマンスとの関係についての検討を目的とした。これまで、ハードル接触はレース中に頻発していると考えられていることから (Pollitt et al., 2018), 本研究ではレース中にハードル接触がどの程度発生しており、どのような特徴があるのかを検討した。本研究の限界点として、ハードル接触の分類が詳細に行えないことが挙げられる。本研究はレース中の動画から分析を行うため、ハードル接触の程度や接触した身体部位を定量化することが困難である。本研究では、先行研究の分類 (Pollitt et al., 2018) を参考にした分類を行ったが、より詳細な分析は研究3の課題とした。同様に、ハードル接触の原因についても分析が不可能であったため、研究2の課題とした。

### 研究2 (第3章)

110mH におけるハードル接触の原因と影響に関連するキネマティクスの要因の検討を目的とした。本研究では、一般的に考えられてきたハードル接触に関連する要因、特にハードル接触の原因となる要因について検証を行った。本研究はハードル接触が最も大きな試技を分析対象として展開したが、ハードル接触の程度をハードルバーの変位置で分析したため、被験者ごとに大きなばらつきが見られ、ハードル接触の程度を定量化する点に課題が残った。

### 研究3 (第4章)



110mH におけるハードル接触の影響は接触した身体部位によってどの程度異なるのかの検討を目的とした。本研究では、ハードル接触の程度をハードルバーの加速度から定量化し、走速度低下との関係を検討した。本研究では、研究 1 および研究 2 の課題を解決することができたものの、レースパフォーマンスに最も貢献するインターバル区間の走速度低下を招いた動作要因について検討が行えていない点が限界点として挙げられるが、本研究の成果よりハードル接触によって走速度が低下するという従来の理解を支持する結果が得られ、今後の関連研究の発展が期待される成果が挙げられた。

以上の一連の研究から、ハードル接触の実態と関連要因について検討した。

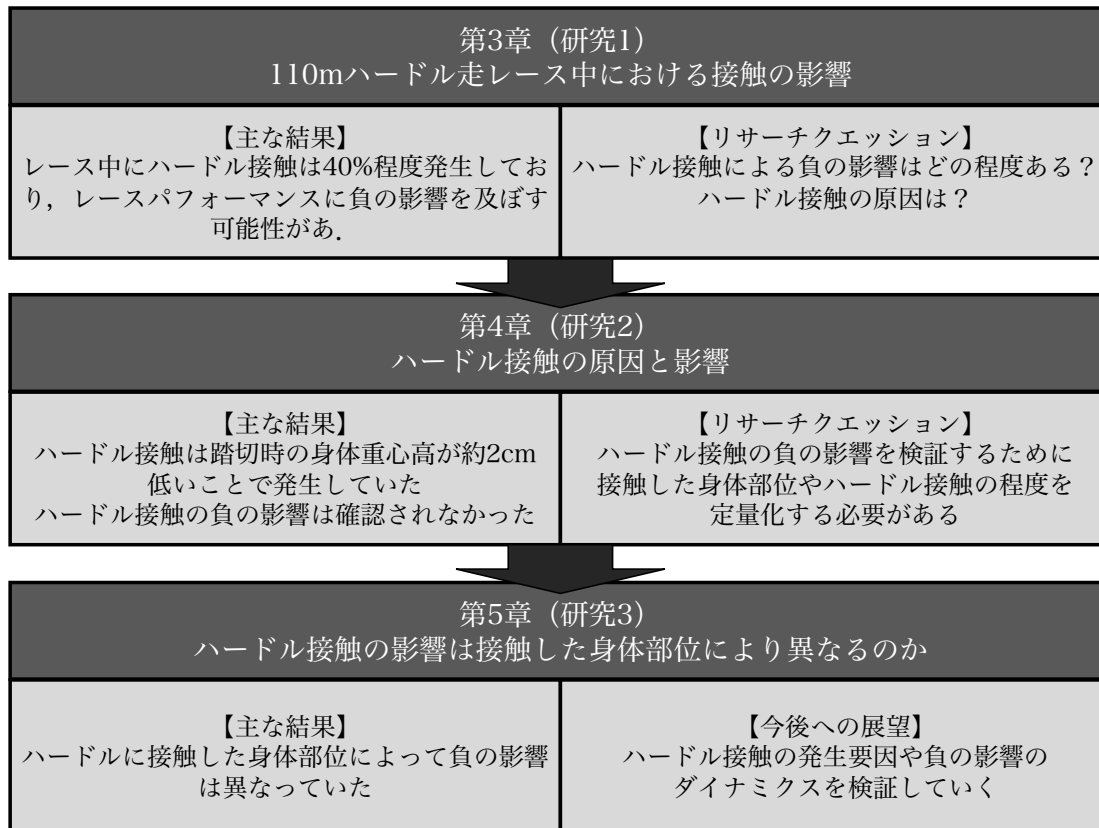


図 1-2 本論文における研究実施のフローチャート (研究1~研究3)

## 第2章

110m ハードル走レース中における接触の特徴とその影響

(研究1)

## 第1節 緒言

110mH 走では、ハードルへの接触が頻発している。一般的に、ハードル接触はレース順位や記録といったレースパフォーマンスに負の影響を与えられている。しかしながら、ハードル接触がレース中にどの程度発生しており、その影響がどの程度かを定量的に示した研究は存在しない。ハードル接触の影響について言及した先行研究では、レースパフォーマンスに負の影響を与えなかった事例 (Graubner & Nixdorf, 2011) と、負の影響を与えた事例 (Pollitt et al., 2018) の相反する結果が報告されている。これらの研究は事例的報告に留まっているため、より多くのレースや競技者を分析することで、110mH レース中に発生しているハードル接触の特徴およびその影響について明らかにすることが可能になると考えられる。また、これまで競技者や指導者が感覚的に捉えてきたハードル接触の影響について科学的に検証することは、ハードル走の指導法に新たな知見をもたらすことが期待される。

そこで、本研究は110mHレース中に発生しているハードル接触の特徴を明らかにし、ハードル接触がレースパフォーマンスに及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

## 第2節 方法

### 第1項 対象およびデータ収集

分析対象は、2015年～2017年に行われた国外競技会における男子110mH決勝22レース全163例とした。なお、分析対象者は51名であり、複数レースに出場した選手が含まれていた。また、通常決勝レースは8名で行われるが、欠場者やレースを途中棄権した選手がいたため、8名以下で行われた決勝レースが複数含まれていた。ハードル接触は個人内でもレースごとにばらつきがあり、例えば Pollitt et al. (2018)は、世界陸上競技選手権大会の優勝者が決勝レースでは4台のハードルに接触していたが、準決勝レースではハードル接触がなかったことを報告している。したがって、本研究では複数レースに出場した選手は結果に影響を与えないものとして分析を行った。データは先行研究 (Hobara et al., 2015; Salo et al., 2011) と同様に、公共動画共有サービスにアップロードされた動画の中から選手およびハードルが鮮明に写っているものを収集し、分析に使用した。表 2-1 に示すように分析対象レースには、オリンピックや世界陸上競技選手権大会といった一流競技者が参加した競技会が含まれていた。

表 2-1 分析対象レース

競技会名	分析レース数	分析対象者数	レースタイム
オリンピック	1	8	13.27 (± 0.12)
世界選手権大会	2	16	13.21 (± 0.13)
IAAF Diamond League	19	139	13.36 (± 0.24)
n	22	163	13.28 (± 0.16)

※レースタイムは平均 (±標準偏差)

## 第2項 算出項目

収集した各選手のレースタイムおよびレース順位については、国際陸上競技連盟が公式に発表したりザルトから収集した。レースタイムについて、各順位の平均値および標準偏差を算出した。また、収集した映像から、レース中に発生したハードル接触について、Pollitt et al. (2018) を参考に分類を行った。Pollitt et al. (2018) はハードル接触を5段階で分類しているが、映像からハードル接触の程度を判定するのは困難であったため、本研究では接触なしを No hit、ハードルに接触したがハードルが倒れなかったものを Slight hit、ハードルに接触しハードルが倒れたものを knocking over the hurdle とする3つのパターンに分類した。

接触パターンの出現回数を各ハードルについて算出した。また、レース局面別のハードル接触の特徴を明らかにするために、谷川 (2007) が報告しているレース局面別 (レース前半 (第1-第3ハードル)、レース中盤 (第4-第6ハードル)、レース後半 (第7-第10ハードル)) に接触パターンを算出した。

### 第3項 統計処理

統計処理には EZR version1.37 (Kanda, 2006, 自治医科大学附属さいたま医療センター, 日本) を用いた。レース記録について、各順位間で Steel-Dwass 法による多重比較を実施した。レース中の接触パターン出現回数の頻度について、 $\chi^2$  検定を実施し、有意性の認められた項目について調整済み残差を用いて検討した。ハードル接触がレース記録およびレース順位に与える影響について、個人内の各接触パターン出現回数とレース記録およびレース順位との相関関係から検討を行った。相関係数については、 $<|0.3|$  を弱い相関、 $|0.3|$ - $|0.5|$  を中程度の相関、 $|0.5|$ - $|0.7|$  を強い相関、 $|0.7|$ < を非常に強い相関とした (Hopkins et al., 2009)。有意水準は 5%未満とした

### 第3節 結果

図2-1には、各順位におけるレース記録を示した。レース記録は、1位群は3位以下の群よりも有意にレース記録が短かった。同様に、2位群は4位以下の群よりも、3位群は5位以下の群よりも、4位群は6位以下の群よりも、5位群は7位以下の群よりもそれぞれ有意にレース記録が短かった。

表2-2には、レース中の各ハードルにおける接触パターンの出現回数を示した。第1ハードルではNo hitの出現回数が多くなり Slight hitの出現回数が少なく、第2ハードルでも依然としてNo hitの出現回数が多くなった。第6ハードルではNo hitの出現回数が少なくなり Slight hitの出現回数が多くなった。第10ハードルではknocking over the hurdleの出現回数が多くなった ( $\chi^2(18) = 43.18$ )。

表2-3には、レース局面別に接触パターンの出現回数を示した。レース前半ではNo hitの出現回数が多くなり Slight hitの出現回数が少なかった。レース中盤ではSlight hitの出現回数が多くなり、レース終盤でknocking over the hurdleの出現回数が多くなった ( $\chi^2(4) = 21.81$ )。

表2-4には、個人内の接触パターンの出現回数とレース記録およびレース順位間の相関係数を示した。No hitの出現回数では、レース記録およびレース順位との間には有意な負の相関関係が認められた。Slight hitの出現回数では、レース記録および順位との間に有意な正の相関関係が認められた。knocking over the hurdleの出現回数では、レース記録および順位との間に有意な正の相関関係が認められた。図2-2には、接触パターン出現回数とレース記録および順位との関係を示した。



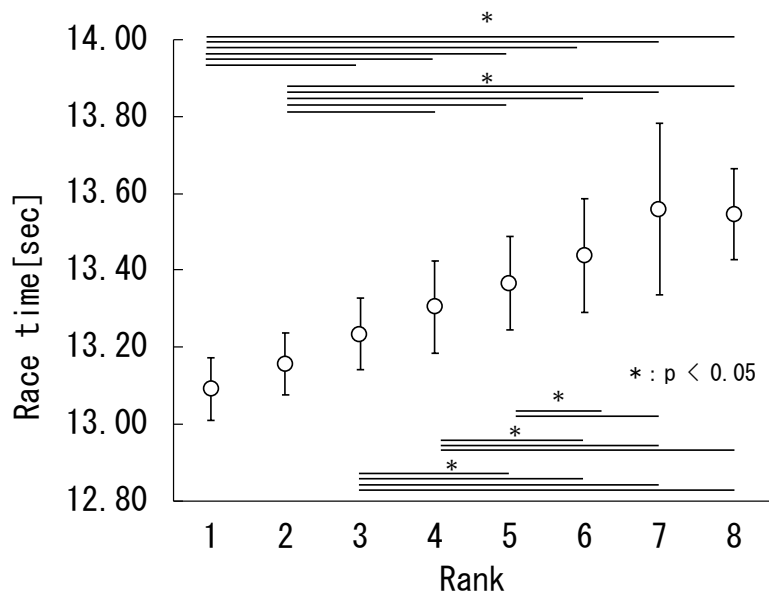


図 2-1 各順位におけるレース記録

表 2-2 レース中の各ハードルにおける接触パターンの出現回数

	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H
No hit	110*	108*	99	95	95	80†	96	95	90	89
Slight hit	33†	35	40	43	51	67*	47	40	47	36
Knocking over the hurdle	20	20	24	25	17	16	20	28	26	38*
n	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163

灰色で塗りつぶした箇所は有意差が認められた項目を示している (\*:  $p < 0.05$ ).

$\chi^2$ 検定 \*: 有意に多い, †: 有意に少ない ( $p < 0.05$ ).

表 2-3 レース局面別の接触パターンの出現回数

	レース前半 (1H-3H)	レース中盤 (4H-6H)	レース後半 (7H-10H)
No hit	317*	270	370
Slight hit	108†	161*	170
Knocking over the hurdle	64	58	112*
n	489	489	652

灰色で塗りつぶした箇所は有意差が認められた項目を示している (\*:  $p < 0.05$ ).

$\chi^2$ 検定 \*: 有意に多い, †: 有意に少ない ( $p < 0.05$ ).

表 2-4 個人内の接触パターンの出現回数と順位およびレース記録間の相関係数

	No hit	Slight hit	Knocking over the hurdle
レースタイム	-0.29*	0.20*	0.31*
レース順位	-0.36*	0.26*	0.35*

灰色で塗りつぶした箇所は有意な相関関係が認められた項目を示している(\*:  $p < 0.05$ ).

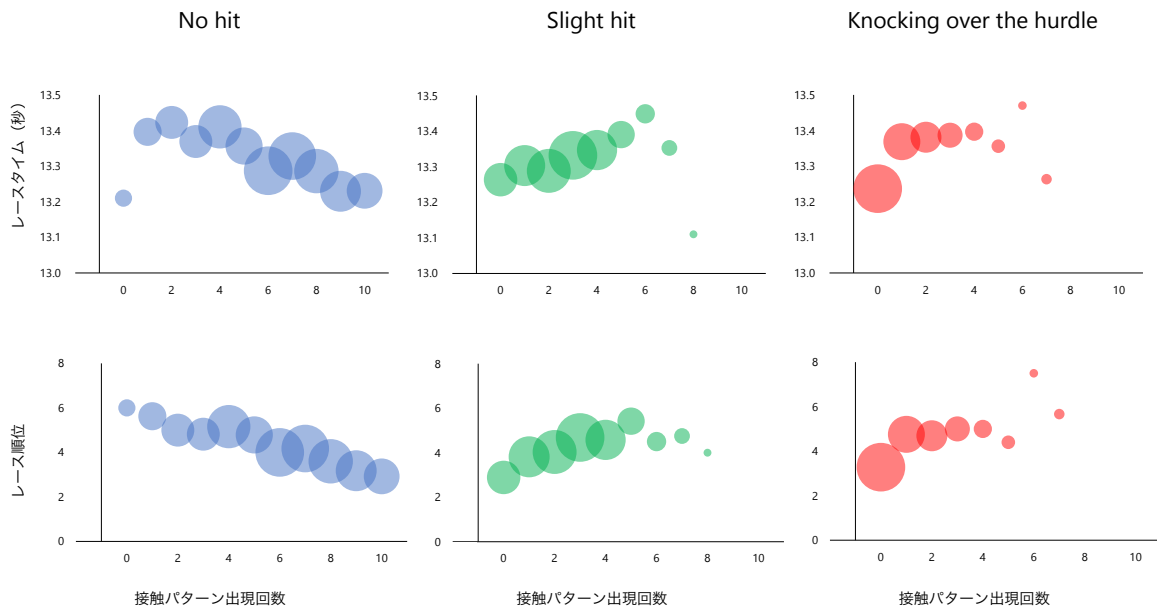


図 2-2 接触パターン出現回数とレース記録および順位との関係

※図中のバブルサイズは該当者数を表す。大きいほど該当者数が多いことを示している。

## 第4節 考察

### 第1項 110mH レース中のハードル接触の特徴

110mHのレースパターンとして、アプローチ区間で高い走速度を獲得し、第2第3ハードルまでの区間でより加速し、その後の区間では高めた走速度を低下させないことがレース展開の鍵となる(柴山ら, 2020)。本研究の結果、レース前半、特に第1および第2ハードルにおいてNo hitが多くなっている特徴が明らかとなった(表2-2, 表2-3)。また、No hitはレースタイムとは弱い負の相関関係に、レース順位とは中程度の負の相関関係にあった(表2-4)。以上のことから、第1, 第2ハードルではハードル接触は少ないものの、接触した場合はアプローチ区間で獲得した走速度を低下させる、もしくは加速局面中の走速度増加を阻害すると推察され、レースパフォーマンスに対して負の影響を及ぼす可能性があることが示された。

一流競技者は、レース中盤に最高走速度が出現することが明らかとなっている(Susanka et al., 1988; Pollitt et al., 2018; 柴山ら, 2020)。本研究は、世界一流競技者が参加する競技会を対象とした分析を行ったことから、レース中盤に最高走速度が出現していたことが推察される。本研究の結果、レース中盤ではSlight hitが多く、特に第6ハードルで頻出していたことが明らかとなった(表2-2, 表2-3)。第6ハードル付近では最高走速度局面から速度低下局面に切り替わることが報告されていることから(柴山ら, 2020)、局面の切り替わりとハードル接触パターンに関係性がある可能性が示された。また、Slight hitはレースタイムおよびレース順位と弱い正の相関関係にあったことから(表2-4)、レース中盤のハードル接触がレースパフォーマンスに及ぼす影響は小さい可能性が考えられる。

レース後半では、Knocking over the hurdleが多くなっていたことが明らかとなった（表 2-2, 表 2-3）。レース後半では、競技レベルに関わらず走速度が低下する（Susanka et al., 1988；Pollitt et al., 2018；柴山ら, 2020）。この走速度低下の要因は、疲労の影響だけでなく、技術的能力も影響している可能性が指摘されている（Salo & Scarborough, 2006）。また、一流競技者は習得した技術的能力の再現性が高いことが報告されている（谷川, 2006）。従って、レース後半でハードルに接触することはこの高い技術的能力の再現性に対し負の影響を与える可能性があり、結果的に走速度低下を招くと推察される。Pollitt et al. (2018) は、世界陸上競技選手権大会決勝レースの分析結果から、第 8 から第 9 ハードルのインターバルタイムが 1 位～7 位の選手は 0.01～0.03 秒増加していたのに対し、8 位の選手は第 8 ハードルに大きく接触し 0.07 秒増加していたことを報告している。また、レース後半の特徴である Knocking over the hurdle は、レースタイムおよびレース順位と中程度の正の相関関係にあったことから（表 2-4）、レースパフォーマンスに対して負の影響を及ぼす可能性が示された。

以上をまとめると、レース前半および後半のハードル接触が特にレースパフォーマンスに影響を及ぼしている可能性が示された。しかしながら、上述したレース中の接触とパフォーマンス変数との相関係数はいずれも小さいことから、ハードル接触がレースパフォーマンス全体に大きな影響を及ぼさない接触も多い可能性が考えられる。

## 第 2 項 ハードル接触とレースパフォーマンスとの関係

各レース順位におけるレースタイムの結果から、レース上位争いをするためにはレースタイムが重要であること、前後のレース順位（1 位と 2 位など）の違いにほとんどタイム差がないことが明らかとなった（図 2-1）。7 位と 8 位については、7 位が 8 位よりもレース記録が高くなっているが、これは分析対

象に 8 名以下でのレースが含まれており、8 位が不在かつ 7 位のレースタイムが非常に遅かったレースが含まれていたことが原因であると考えられる。これらのことから、レースタイムを高めることの重要性だけではなく、レース順位を一つでもあげるためにはごく僅かな差しかないことが示唆された。この僅かな差を決定づける一つの要因がハードル接触であると考えられる。個人内のハードル接触パターンの出現回数とレースタイムおよびレース順位との間に、No hit ではレース順位と、Knocking over the hurdle ではレースタイムおよびレース順位と中程度の相関関係にあったことから、ハードル接触をできるだけ少なくすること、特に Knocking over the hurdle のような大きな接触を少なくすることは、レースパフォーマンスの低下を防ぐ要因になりうることが示唆された。

また、Knocking over the hurdle は Slight hit よりも相関係数が僅かではあるが高くなっていることから、ハードル接触の程度がレースパフォーマンスに及ぼす影響について定性的に評価する際に、ハードルが倒れているかどうかの一つの指標となりうる可能性が示された。しかしながら、2017 年世界陸上競技選手権では、4 位入賞した選手がレース中ハードルの半数を倒していたにも関わらず第 9 ハードルまでメダル争いをしていたこと、8 位入賞の選手では第 8 ハードルでハードルを倒し、次のインターバルタイムで 0.07 秒遅くなっていたことを報告している (Pollitt et al., 2018)。従って、ハードルを倒すことは必ずしもパフォーマンスに対してネガティブに働くわけではないと言える。本研究および Pollitt et al. (2018) の定性的評価は、ハードルが倒れたかどうかのみ着目しているため、接触した身体部位やハードルの倒れ方等も複合的に考慮する必要があるだろう。

### 第3項 本研究の限界点

本研究の限界点として、公共動画共有サービスにアップロードされた動画を用いたため、レース中の区間タイムやハードルに接触した身体部位、ハードル接触の程度を定量化するまで至らなかった点が挙げられる。また、本研究ではハードル接触がレースパフォーマンスに対して負の影響を与える可能性を示したが、競技者においてはハードル接触を避けようとしてハードルを大きく飛び越える動作は、ハードルクリアランス中の水平速度低下に繋がるため (McDonald, 2002)、このような動作もレースパフォーマンスに対して負の影響を及ぼす可能性が高いことが推察される。この点についても、本研究手法では解明できないため、ハードル接触の影響についてバイオメカニクスの分析手法を用いて検討する必要がある。本研究では、ハードル種目の中で最もハードル高が高いためハードル接触が頻発すると考えられてきた 110mH を対象としたが、女子の 100mH ではハードルに接触した場合は 110mH よりも重大な影響がある可能性が指摘されている (Pollitt et al., 2018)。今後、100mH についても同様の調査を行うことでハードル接触の実態をより詳細に明らかにできると考えられる。

## 第5節 結論

本研究より、レース中のハードル接触の特徴はレース局面ごとに異なることが明らかとなった。具体的には、レース前半では No hit が多くなり、レース中盤では Slight hit が多くなり、レース後半では Knocking over the hurdle が多くなっていた。特にレース前半の第1および第2ハードルの No hit、レース後半の第10ハードルの Knocking over the hurdle がレースパフォーマンスと関連する可能性が示された。また、ハードル接触はレースパフォーマンスに対して大きな負の影響は及ぼさないものの、No hit はレース順位との間に、Knocking over the hurdle はレースタイムおよびレース順位との間に中程度の相関関係が認められたことから、ハードル接触をできるだけ少なくすること、特にハードルを倒すような接触を避けることがパフォーマンス低下を抑える要因となることが示唆された。



## 第3章

### ハードル接触の原因と影響

#### (研究2)

## 第1節 緒言

研究1の結果から、110mHではハードルへの接触が頻発しており、ハードルを倒すようなハードル接触はレース順位や記録といったレースパフォーマンスに負の影響を与える可能性が示された。一方で、ハードル接触の発生要因や具体的な負の影響については検討されていない。

一般的に、ハードル接触はハードルに近い位置で踏み切ることや、低い踏切角度でハードルクリアランスに向かうことで発生すると考えられており、競技者はこれらの点に留意してハードル接触を避けようとしていると指摘されている (McDonald & Dapena, 1991b)。また、ハードルに接触することで着地時にバランスを崩し、続くハードルに向けて適切な準備を行うことが難しくなるという指摘もある (Salo & Scarborough, 2006)。理論的に考えると、同じ踏切速度、踏切角度で飛び出せばハードルに近い位置での踏切はハードル接触の要因となりうる。同じように、踏切速度と踏切位置が同程度であれば低い踏切角度での飛び出しがハードル接触の要因となりうる。しかしながら、これらの変数とハードル接触の関係について検証されておらず、科学的根拠としては希薄である。また、空中では重力以外の外力は作用しないため、ハードルに物理的に接触することで、進行方向と反対向きの力が身体に作用することとなる。作用・反作用の法則から、物理的接触の程度が大きくなれば、同じ大きさだけ力が返ってくるため、研究1で示したようにハードルを倒すような接触がレースパフォーマンスに最も影響を与えるというのは合理的である。しかしながら、研究1の結果を踏まえるとハードル接触は必ずしもパフォーマンスに重大な影響を及ぼすとは限らない可能性が考えられる。

近年、ハードル接触の影響をパフォーマンス評価の際に考慮すべきだと指摘する声が上がっており (González-Frutos et al., 2020 ; Kaisido et al., 2021 ; Ntolaptsis & Panoutsakopoulos 2021), Pollitt et al. (2018)は、先んじて定性的分析によるハードル接触の影響を論じた。ハードル接触に関する議論は指導実践の現場で

もよく行われており、上述してきたようにハードル接触の原因や影響は共通理解として存在しているが、これを科学的に検証し、定量的データで示した研究は存在しないため、ハードル接触の原因や影響に関連する要因は十分に解明されていない。したがって、ハードル接触時に見られる動作的特徴をバイオメカニクスの観点から明らかにすることで、ハードル走に関する理解が深まり、実践や指導に有益な新しい知見が期待される。特に、ハードル接触の原因に関連する動作要因が明らかになることは実践や指導にとって大きな意義があると考えられる。

そこで、本研究は、110mHにおけるハードル接触に関連するキネマティクス要因を定量的データで示し、ハードルの接触の原因および影響について検討することを目的とした。本研究では、以下の二つの仮説を設定した。1) ハードルに近い踏切位置や低い踏切角度は、ハードル接触の原因となる、2) ハードルへの接触はハードルクリアランス中に与える影響は小さいが、着地動作に負の影響を与える。

## 第2節 方法

### 第1項 対象者

表3-1に示すように、9名の男性陸上競技選手を対象とした（身長： $1.74 \pm 0.04\text{m}$ ，体重： $67.4 \pm 5.9\text{kg}$ ，年齢： $20.2 \pm 1.4$  歳，自己記録： $15.21 \pm 0.47$  秒）。対象者の中には、混成競技を専門とする選手も含まれていた。また、全ての対象者は大学陸上競技部に所属しており、週に5-6回のトレーニングを少なくとも5年以上継続して実施していた。実験に先立ち、全ての対象者は本研究の目的および方法について口頭および書面で説明を受けていた。また、本研究は東京学芸大学研究倫理委員会の承認を得て実施された。

表 3-1 対象者の身体的特性

被験者	身長 (m)	体重 (kg)	自己記録 (秒)	シーズン記録 (秒)
A	1.80	73.5	14.48	14.63
B	1.79	68.0	14.58	14.58
C	1.74	70.0	14.94	14.94
D	1.73	66.6	15.10	15.10
E	1.74	67.7	15.18	15.18
F	1.73	64.0	15.40	15.83
G	1.66	53.0	15.54	16.10
H	1.73	70.0	15.58	15.58
I	1.75	74.0	16.06	16.06
平均 (標準偏差)	1.74(0.04)	67.4(5.9)	15.21(0.47)	15.33(0.55)

## 第2項 実験試技

実験試技では、各自で十分なウォーミングアップを行った後、正規規格である高さ 1.067m、インターバル 9.14m に設置された 2 台のハードル走を最大努力試技で実施させた (図 3-1)。試技間に十分な休息を挟みながら実施され、ハードル接触試技 (Hit trial: HT) と、非接触試技 (Non-hit trial: NHT) がそれぞれ 1 試行以上計測されるまで、12 回繰り返し試技を行なった。試技中、被験者に最大努力で実施するように指示し、ハードル接触に関する教示は行わなかった。したがって、本研究で収集された全てのデータは完全にランダムであった。

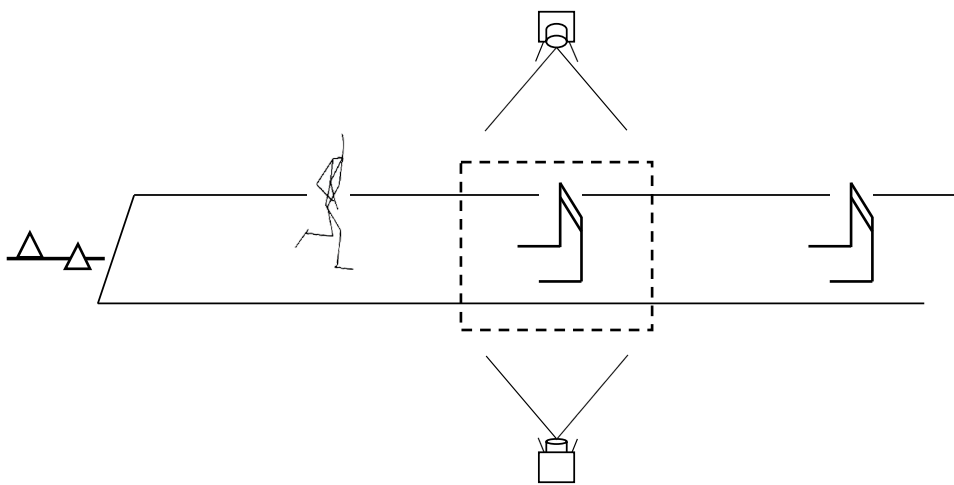


図 3-1 実験設定

### 第3項 データ収集およびデータ処理

実験試技の様子は、第1ハードルの踏切から着地までの矢状面の動作を、第1ハードルの左右側方に設置された2台の高速度カメラ（HAS-L1, Ditect社製）により、120Hzで撮影された。なお、本研究はハードル接触の原因および影響を調査するため、前後のハードルの影響を受けない第1ハードルを対象に分析を行なった。被験者には、身体分析点24点に分析用マーカ―を貼付した。また、ハードルバーの挙動を確認するために、左右2点にもマーカ―を貼付した。

身体およびハードルに貼付されたマーカ―は、動作解析システム（Frame-DIAS V, DKH社製）を用いてデジタイズした。デジタイズされたマーカ―の座標値は、2次元DLT法によって取得した（Walton, 1981）。取得された2次元座標値は、4次のバターワースローパスフィルタを用いて遮断周波数7.1 Hz - 14.3 Hzで平滑化した。なお、遮断周波数の決定には、残差分析を用いた（Winter, 2009）。全身のキネマティクス変数を算出するため、15の剛体（頭部・上胴・下胴・左右上腕・左右前腕・左右手部・左右大腿・左右下腿・左右足部）から構成される剛体リンクセグメントモデルを適用し、分析を行なった。身体重心位置を算出するために、阿江ら（1992）の身体部分慣性係数を用いた。

分析区間は、第1ハードルにおける踏切脚離地から、リード脚の着地までとした（図3-2）。各被験者から収集された12のデータから、NHT試技およびHT試技をそれぞれ1試技抽出した。NHT試技では、ハードルクリアランス時間が最も速かった試技を、HT試技では、ハードルバーに貼付したマーカ―の中点座標値の水平変位量が最も大きかった試技を抽出した。

## 第4項 算出項目

### 1. ハードルクリアランス変数

以下の項目について算出した (図 3-3)

#### a) ハードルクリアランス水平距離 (m)

踏切脚のつま先からハードルまでの距離である踏切水平距離と、ハードルからリード脚のつま先までの距離である着地水平距離に分けて算出した。

#### b) ハードルクリアランスタイム (秒)

踏切脚離地からリード脚接地までに要した時間とした。

#### c) 踏切角度 (°)

踏切脚離地瞬時から 10 フレーム後までの身体重心の合成速度ベクトルが水平線と為す平均角度とした。

#### d) 踏切速度 (m/s)

踏切脚離地瞬時における身体重心の水平速度および鉛直速度を分けて算出した。

#### e) 着地速度 (m/s)

リード脚接地瞬時における身体重心の水平速度および鉛直速度を分けて算出した。

#### f) 減速量 (m/s)

着地時の身体重心水平速度から踏切時の身体重心水平速度の差分とした。

#### g) 身体重心高 (m)

踏切脚離地瞬時の身体重心高とした。

## 2. 下肢動作

下肢動作については、股関節、膝関節および足関節について算出した。股関節は体幹ベクトルと大腿ベクトルの為す角度とし、膝関節は大腿ベクトルと下腿ベクトルの為す角度とし、足関節は下腿ベクトルと足部ベクトルの為す角度とした。また、下肢のセグメントについて、柴山ら（2011）に倣い鉛直線と大腿セグメントおよび下腿セグメントが為す角度および角速度を算出した（図 3-4）。角度は、踏切脚離地瞬時およびリード脚着地瞬時の値を算出し、角速度は支持期における最大値および最小値を算出した。

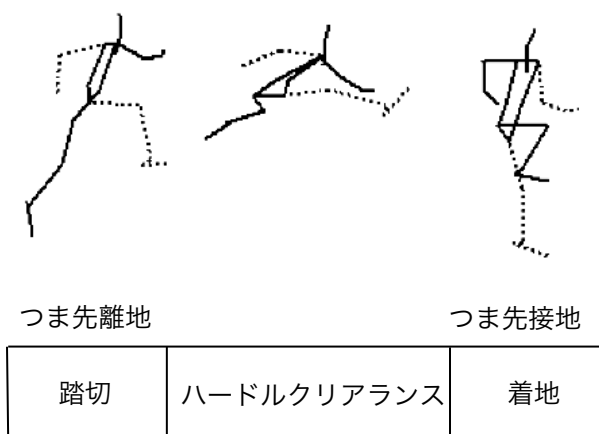


図 3-2 分析区間



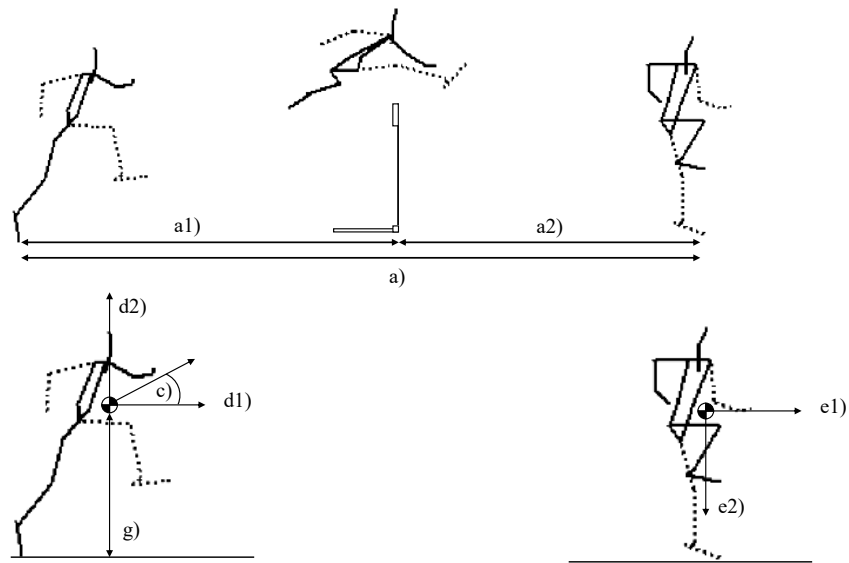


図 3-3 ハードルクリアランス変数の定義

※a) ハードルクリアランス水平距離, a1) 踏切水平距離, a2) 着地水平距離, c) 踏切角度

d1) 踏切水平速度, d2) 踏切鉛直速度, e1) 着地水平速度, e2) 着地鉛直速度, g) 身体重心高

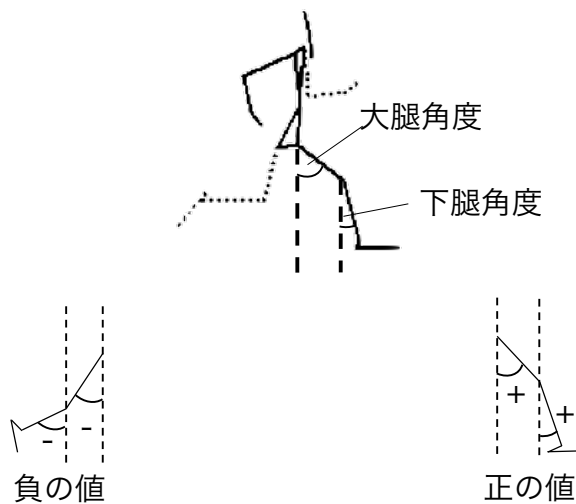


図 3-4 下肢セグメントの定義

## 第5項 統計処理

全ての値は平均値±標準偏差で表した。データの正規性について、Shapiro-Wilk 検定を用いて検証した。条件間における算出項目の比較について、パラメトリックデータについては対応のある t-検定を、ノンパラメトリックデータについては Wilcoxon の符号順位和検定を用いた。Family wise error を防ぐために、Holm 法による調整を行なった。また、Cohen's d を用いて効果量を表した (Cohen, 1992)。効果量について、0.2–0.5 を小、0.5–0.8 を中、>0.8 を大と定義した。全ての統計処理は、EZR version 1.37 (Kanda, 2006, 自治医科大学附属さいたま医療センター, 日本) を用いて行なった。有意水準は 5%未満とした。

### 第3節 結果

#### 第1項 ハードルクリアランス変数

表3-2に、NHTおよびHTにおけるハードルクリアランス変数を示した。身体重心高において、NHTおよびHT間の有意差が確認された ( $p = 0.009, d = 0.56$ )。その他の変数では、有意差は確認されなかった。

表3-2 NHTおよびHTにおけるハードルクリアランス変数

	NHT	HT
ハードルクリアランス水平距離 (m)	3.91±0.17	3.89±0.11
踏切水平距離(m)	1.91±0.19	1.93±0.20
着地水平距離(m)	2.00±0.14	1.96±0.18
ハードルクリアランスタイム(秒)	0.46±0.04	0.45±0.03
踏切角度(°)	15.5±1.6	15.2±1.9
踏切水平速度 (m/s)	7.16±0.28	7.24±0.28
踏切鉛直速度 (m/s)	2.34±0.20	2.32±0.19
着地水平速度 (m/s)	6.92±0.31	6.94±0.19
着地鉛直速度 (m/s)	-2.21±0.26	-2.09±0.19
減速量 (m/s)	0.24±0.13	0.30±0.23
身体重心高 (m)	1.15±0.03	1.13±0.03 *

灰色で塗りつぶした箇所は有意差が認められた項目を示している(\*:  $p < 0.05$ ).

## 第2項 下肢動作

表 3-3 に、踏切瞬時および着地瞬時のリード脚、踏切脚における股関節角度、膝関節角度、足関節角度を示した。着地瞬時の踏切脚膝関節角度では、HTがNHTよりも有意に小さな角度であった ( $p=0.006$ ,  $d=1.11$ )。その他の項目について、有意差は確認されなかった。

表 3-3 踏切瞬時および着地瞬時のリード脚、踏切脚における下肢関節角度

		踏切瞬時		着地瞬時	
		NHT	HT	NHT	HT
股関節	リード脚 (°)	81.4 ± 8.4	87.8 ± 6.8	140.4 ± 5.4	140.9 ± 5.8
	踏切脚 (°)	166.0 ± 8.4	169.7 ± 8.0	64.5 ± 10.0	75.4 ± 14.6
膝関節	リード脚 (°)	96.4 ± 12.5	91.8 ± 9.3	166.2 ± 3.6	166.7 ± 4.6
	踏切脚 (°)	158.3 ± 4.8	157.3 ± 7.6	*62.9 ± 12.8	*48.8 ± 12.6
足関節	リード脚 (°)	76.8 ± 3.3	70.9 ± 3.8	58.1 ± 3.6	61.2 ± 8.0
	踏切脚 (°)	40.1 ± 5.7	28.3 ± 4.9	92.9 ± 10.4	86.5 ± 16.3

■ 灰色で塗りつぶした箇所は有意差が認められた項目を示している(\*:  $p < 0.05$ ).

表3-4に、リード脚、踏切脚における大腿角度、下腿角度を示した。踏切瞬時のリード脚大腿角度では、HTがNHTよりも有意に小さな角度であった ( $p=0.017, d=0.70$ )。着地瞬時の踏切脚下腿角度では、HTがNHTよりも有意に小さな角度であった ( $p=0.011, d=1.46$ )。

表3-4 踏切瞬時および着地瞬時のリード脚、踏切脚における大腿、下腿の角度

		踏切瞬時		着地瞬時	
		NHT	HT	NHT	HT
大腿	リード脚 (°)	*90.6±5.4	*87.2±4.2	16.7±3.1	17.7±3.6
	踏切脚 (°)	-13.9±5.9	-14.6±5.7	102.2±5.7	91.6±7.4
下腿	リード脚 (°)	7.0±11.8	-1.0±7.6	2.9±1.5	4.4±4.7
	踏切脚 (°)	-32.0±3.3	-32.4±3.9	*-22.3±13.1	*-43.2±15.5

■ 灰色で塗りつぶした箇所は有意差が認められた項目を示している(\*:  $p < 0.05$ ).

表 3-5 に、踏切支持期および着地支持期中のリード脚および踏切脚の股関節、膝関節、足関節の角速度を示した。全ての項目において、有意差は確認されなかった。

表 3-5 踏切瞬時および着地瞬時のリード脚、踏切脚における股関節、膝関節、足関節の角速度

		踏切				着地			
		最大値		最小値		最大値		最小値	
		NHT	HT	NHT	HT	NHT	HT	NHT	HT
股関節	リード脚	897.7	907.8	376.0	366.7	43.3	36.2	-559.7	-572.2
	(°)	± 87.7	± 86.4	± 54.7	± 43.2	± 114.2	± 119.2	± 64.8	± 52.1
	踏切脚	132.1	90.7	-458.2	-472.1	-257.2	-222.8	-695.2	-642.9
	(°)	± 56.2	± 65.2	± 83.4	± 83.6	± 108.4	± 168.9	± 77.8	± 102.9
膝関節	リード脚	926.4	916.0	-1058.9	-1096.8	128.6	203.4	-623.5	-613.8
	(°)	± 146.2	± 160.4	± 85.3	± 130.9	± 104.7	± 126.0	± 104.3	± 90.2
	踏切脚	514.8	538.7	-512.4	-534.0	936.0	1029.3	182.5	326.4
	(°)	± 72.2	± 76.7	± 132.6	± 119.3	± 165.0	± 77.3	± 181.3	± 113.6
足関節	リード脚	402.3	451.1	-16.2	-48.3	973.7	693.3	-1288.2	-1303.8
	(°)	± 94.9	± 84.4	± 55.8	± 105.8	± 108.4	± 172.8	± 140.7	± 155.4
	踏切脚	523.3	588.9	-1095.5	-1172.3	20.8	43.4	-294.7	-279.3
	(°)	± 84.8	± 133.7	± 75.4	± 110.6	± 59.8	± 220.3	± 97.2	± 108.3

■ 灰色で塗りつぶした箇所は有意差が認められた項目を示している(\*:p<0.05).

表 3-6 に、踏切支持期および着地支持期中のリード脚および踏切脚の大腿角速度、下腿角速度を示した。着地局面におけるリード脚下腿最大角速度は、HT が NHT よりも有意に大きかった ( $p=0.019, d=0.75$ )。

表 3-6 踏切瞬時および着地瞬時のリード脚、踏切脚における大腿、下腿の角速度

		踏切				着地			
		最大値		最小値		最大値		最小値	
		NHT	HT	NHT	HT	NHT	HT	NHT	HT
大腿	リード脚	992.1	996.7	291.2	324.3	88.9	57.3	-524.1	-547.5
	(°)	±65.4	±66.6	±98.8	±82.9	±113.7	±113.3	±46.6	±40.7
	踏切脚	-59.4	-80.9	-613.2	-634.9	-34.3	14.1	-596.5	-510.2
	(°)	±50.1	±45.7	±50.5	±50.6	±69.2	±78.1	±77.7	±89.5
下腿	リード脚	1284.7	1306.0	-498.7	-550.3	*-297.2	*-232.0	-727.8	-777.9
	(°)	±71.6	±77.7	±104.2	±151.2	±80.5	±94.0	±69.3	±90.7
	踏切脚	-58.9	-26.1	-649.3	-675.5	461.0	594.0	-185.6	18.6
	(°)	±47.0	±66.6	±67.4	±46.9	±80.1	±115.4	±216.9	±163.0

■ 灰色で塗りつぶした箇所は有意差が認められた項目を示している(\*:  $p < 0.05$ ).

## 第4節 考察

### 第1項 ハードル接触の原因

多くのハードルクリアランス変数の中で、踏切瞬時の身体重心高にのみハードル接触試技（HT）と非接触試技（NHT）で有意差が確認された。従来の理解とは対照的に、踏切距離や踏切角度、踏切速度には条件間の差が確認されなかった。ハードル競技者は、ハードルを跳び越えるために少なくともハードル高以上の身体重心高を確保する必要がある。Coh（2003）は、ハードルクリアランス時の身体重心の上下動を小さくするために、踏切ステップ時には高い身体重心高を保つ必要があると述べている。理論的には、踏切位置および踏切角度が同程度であれば、跳び出し時の身体重心高が低いことでハードルに接触する。先行研究において、踏切時の身体重心高は効率的なハードルクリアランスのための重要な要因であることが述べられている（Coh & Iskra, 2012; Amara et al., 2019）。本研究は、ハードル接触においても、踏切時の身体重心高が重要な要因となることを定量的に示すことに成功した。

ハードルクリアランスの基礎的な技術として、リード脚を斜め上方に引き上げることで身体重心を上昇させることが重要となる（McDonald & Dapena, 1991b）。本研究の結果から、下肢動作では踏切瞬時の大腿角度がHTではNHTよりも低いことが明らかとなった。下肢の中で大腿部は質量比が最も高いことから、大腿角度が小さい、すなわち大腿が十分に斜め上方に引き上げられていない動作は、身体重心の上昇を阻害する動作であると推測される。したがって、本研究で明らかとなった踏切瞬時の身体重心高の低さはリード脚大腿部の引き上げが十分でない動作に起因すると考えられる。



## 第2項 ハードル接触の影響

研究1では、レース中のハードル接触はレースパフォーマンスに負の影響を及ぼすことが示唆されたが、定量的にその負の影響を示した研究はこれまで行われてこなかった。Pollitt et al. (2018) は、110mHにおけるハードル接触がレースパフォーマンスに対して与える影響は小さいと述べており、本研究はこれを支持する結果となった。しかしながら、ハードル接触によって着地後のインターバルランの加速に対して負の影響を及ぼす可能性がある動作が観察された。着地瞬時の動作において、下腿の最大角速度はHTがNHTよりも有意に低い値であった。競技レベルの高いハードル競技者は、着地ステップにおける下腿の最大角速度が大きいことが報告されている(柴山ら, 2011)。このことから、着地ステップにおける下腿の最大角速度はインターバルランの加速動作に貢献すると考えられ、ハードル接触によってこの加速動作が非効率的になった可能性が考えられる。また、着地瞬時の踏切脚膝関節角度では、HTがNHTよりも有意に小さな角度であった。さらに、踏切脚下腿角度においても、HTがNHTよりも有意に小さな角度であった。踏切脚の動作は、着地中における最も重要な技術的要素の一つである(Coh, 2003)。Salo & Scarborough (2006) は、ハードルに接触することで、ハードル競技者のバランスが崩れると述べている。このことから、ハードルに接触したことで、十分に踏切脚を前方に引き上げる動作が行えなかった可能性が考えられる。着地ステップでは、接地時間を短くすることで身体重心の下降を抑えることが重要である(McDonald, 2002)。着地ステップにおける踏切脚の膝関節がNHTにおいてより伸展位にあり、下腿角度も大きかったことからすでに踏切脚の振り下ろし動作を行おうとしていた可能性が考えられる。一方で、HTは着地ステップ中に踏切脚が十分に前方へ引き出せていないことから、着地ステップ中に踏切脚を前方へ引き出す動きを行うことが推察され、これによって接地時間が延長することが予想されるが、本研究は二次元分析に留まっており、三次元的な動作をする踏切脚の詳細

を記述することができなかつたため、詳細なメカニズムについては不明である。しかしながら、着地技術はハードル走において重要であることが示されており (McLean, 1994; Coh & Iskra, 2004), HT では NHT よりも着地中の支持脚下腿の最大角速度の低下や、着地中の接地時間を延長させると考えられる踏切脚動作といった非効率的な加速動作を誘引する可能性がある着地動作であったことが明らかとなった。本研究では、インターバル中の走速度を計測していないため、どの程度加速を阻害したのかを検証することができなかつたため、更なる検証が必要である。

### 第3項 本研究の限界点

本研究は、各対象者におけるハードル接触試技をハードルバーの水平変位量の観点から抽出しているため、接触の大きい対象者と小さな対象者が混在していた。より多くのハードル接触試技を、同一対象者から抽出するなど、別の観点からハードル接触について論じることで、ハードル接触の影響についてより詳細を明らかにできると考えられる。また、ハードルに接触した身体部位を特定してその影響を論じることができなかつた。したがって、ハードル接触の影響については、更なる検証が必要であると言えるだろう。

## 第5節 結論

本研究より、ハードル走におけるハードル接触の原因は、従来理解されてきたハードルに近い位置での踏切、低い踏切角度といった要因ではなく、踏切時の身体重心高がわずかに2cm低いことであったことが明らかとなった。また、この身体重心高の低さは、リード脚の大腿部振り上げが小さいことに起因する可能性が示された。ハードル接触の影響については、ハードル接触による走速度の実質的な低下は確認されなかった。一方で、着地瞬時の下肢動作については、ハードル接触試技においてリード脚の最大下腿角速度が小さく、踏切脚膝関節角度が小さく、この時の下腿角度が大きいことが確認された。これらの動作は、インターバル中の加速を阻害する可能性がある。したがって、ハードル接触によって走速度の実質的な低下はなくとも、その後の加速動作が非効率的になる可能性が示された。

以上のことから、本研究で設定した仮説である「ハードルに近い踏切位置や低い踏切角度は、ハードル接触の原因となる」は支持されなかったが、「ハードルへの接触はハードルクリアランス中に与える影響は小さいが、着地動作に負の影響を与える」は支持する結果となった。

## 第4章

ハードル接触の影響は接触した身体部位により異なるのか  
(研究3)

## 第1節 緒言

研究2の成果から、ハードル接触の原因が定量化された。一方で、ハードル接触の影響については、研究1ではレースパフォーマンスに負の影響を及ぼす可能性が示されたものの、その具体的な影響について研究2では示されなかった。先行研究においても、ハードル接触の影響については相反する結果が示されている (Graubner & Nixdorf, 2011 ; Pollitt et al., 2018)。したがって、ハードル接触には走速度の低下という負の影響を及ぼす場合と、そうでない場合が存在すると考えられる。この要因として、研究1でパターン分けしたようなハードル接触の程度や、ハードルに接触した身体部位が挙げられる。これらの要因を考慮して、ハードル接触の影響を検証する必要があると考えられる。また、研究2では着地時の姿勢が、インターバル走動作に悪影響を及ぼす可能性があることが示された。したがって、インターバル走速度の変化を比較することで、ハードル接触の影響をより詳細に明らかにすることができるだろう。

そこで、本研究では、様々な接触パターンおよび身体接触部位を分析し、ハードル接触の影響の詳細を明らかにすることを目的とした。本研究では、以下の仮説を設定した。1) ハードル接触の程度が大きくなるにつれ、ハードルクリアランス中の身体重心水平速度の減少も大きくなる、2) ハードルに接触した身体部位によって減速量が異なる。

## 第2節 方法

### 第1項 対象者

110mH を専門とする 3 名の大学男子陸上競技選手を対象とした（身長： $1.78 \pm 0.03\text{m}$ ，体重： $70.8 \pm 3.8\text{kg}$ ，年齢： $20.3 \pm 0.5$  歳，自己記録： $14.82 \pm 0.41$  秒）。また，全ての対象者は大学陸上競技部に所属しており，週に 5-6 回のトレーニングを少なくとも 5 年以上継続して実施していた。実験に先立ち，全ての対象者は本研究の目的および方法について口頭および書面で説明を受けていた。また，本研究は東京学芸大学研究倫理委員会の承認を得て実施された。

### 第2項 実験試技

実験試技では，各自で十分なウォーミングアップを行った後，正規規格である高さ 1.067m，インターバル 9.14m に設置された 2 台のハードル走を最大努力試技で実施させた。試技間に十分な休息を挟みながら実施され，20 回繰り返し試技を行なった。試技中，被験者には最大努力で実施するように指示し，ハードル接触に関する教示は行わなかった。したがって，本研究で収集された全てのデータは完全にランダムであった。撮影された試技から，マーカー欠損等が発生した試技を分析対象から除外した。結果として，52 試技が分析対象試技となり，この試技の中からハードル接触試技（HT）が 33 試技，非接触試技（NHT）が 19 試技，それぞれ収集された。

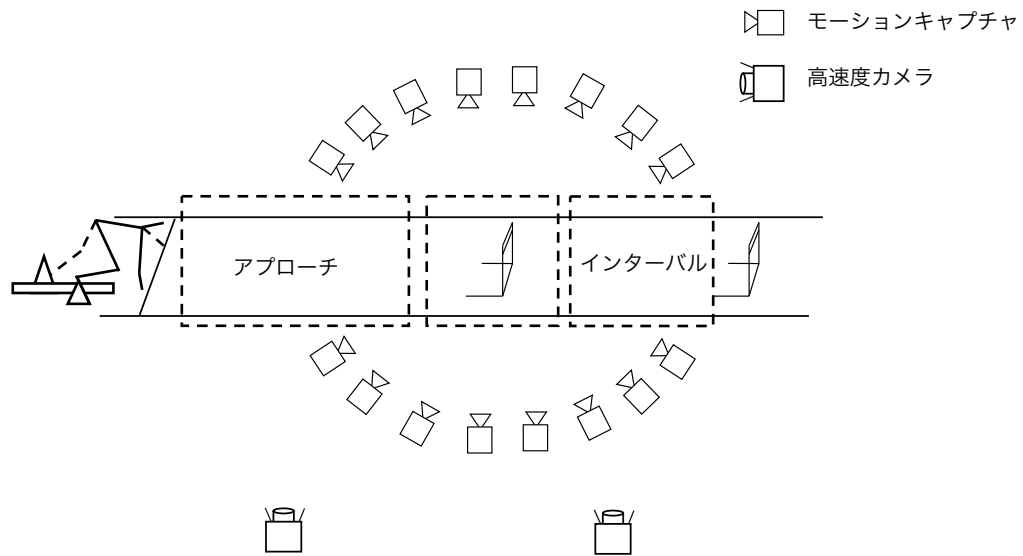


図4-1 実験設定

### 第3項 データ収集およびデータ処理

実験試技は、屋内陸上競技施設（新豊洲 Brillia ランニングスタジアム，東京）で実施した。第1ハードルの踏切前1歩から着地後1歩までの動作を，16台のカメラで構成されたモーションキャプチャシステム（Vicon Bonita3, Vicon Motion System, Oxford, UK）を用いて240Hzで撮影した（図4-1）。また，スタートから第1ハードル踏切までの区間（アプローチ）を1台の高速度カメラ（FDR-AX40, SONY社製）を用いて120Hzで，第1ハードルから第2ハードルのインターバル区間を1台の高速度カメラ（DSC-RX10, SONY社製）を用いて240Hzで撮影した。なお，本研究はハードル接触の原因および影響を調査するため，前後のハードルの影響を受けない第1ハードルを対象に分析を行なった。被験者には，身体分析点43点に分析用マーカーを貼付した。また，ハードルバーの挙動を確認するために，左右および中央部の3点にマーカーを貼付した（図4-2）。

身体に貼付されたマーカーから、各関節中心を推定した。肩関節、膝関節、足関節は、左右もしくは前後に貼付された2点のマーカーの midpoint とした。股関節中心については、Harrington et al. (2007) の推定方法を用いて算出した。全身のキネマティクス変数を算出するため、15の剛体（頭部・上胴・下胴・左上腕・左右前腕・左右手部・左右大腿・左右下腿・左右足部）から構成される剛体リンクセグメントモデルを適用し、分析を行なった。身体重心位置を算出するために、阿江ら（1992）の身体部分慣性係数を用いた。取得されたマーカーの3次元位置座標は4次のバターワースローパスフィルタを用いて遮断周波数 8.0 Hz – 19.0 Hz で平滑化した。高速度カメラで撮影されたアプローチおよびインターバル中のつま先の位置座標について、動作解析システム（Frame-DIAS V, DKH 社製）を用いて 120Hz でデジタル化した。デジタル化されたマーカーの座標値は、2次元 DLT 法によって取得した（Walton, 1981）。分析区間は、第1ハードルにおける踏切脚の接地から、リード脚の離地までとした（図4-3）。なお、接地および離地は、Nagahara & Zushi (2013) の方法を採用し、つま先に貼付したマーカーの鉛直加速度と位置座標から推定した。

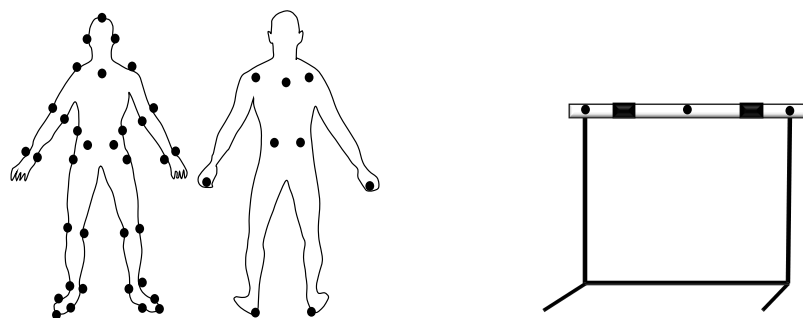


図4-2 マーカーセット



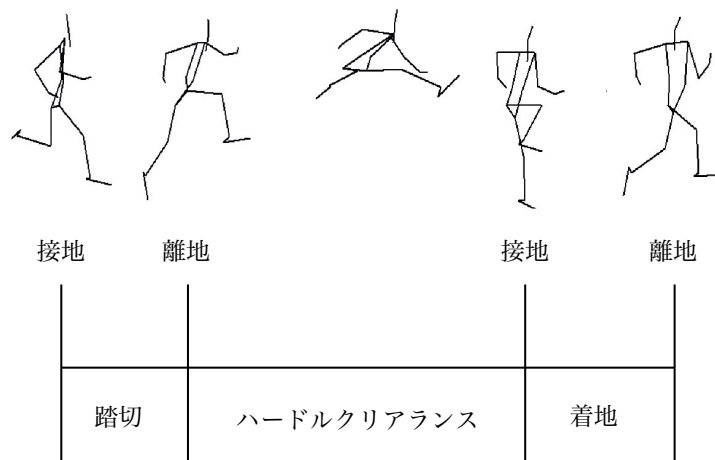


図 4-3 分析区間

#### 第 4 項 算出項目

以下の変数について， Matlab (R2018a, MathWorks, Massachusetts, USA) を用いて算出した。

##### 1. ハードルクリアランス変数 (図 4-4)

###### a) ハードルクリアランス水平距離 (m)

踏切脚のつま先からハードルまでの距離である踏切水平距離と， ハードルからリード脚のつま先までの距離である着地水平距離に分けて算出した。

###### b) ハードルクリアランスタイム (秒)

踏切脚離地からリード脚接地までに要した時間とした。

###### c) 踏切角度 (°)

踏切脚離地瞬時から 10 フレーム後までの身体重心の合成速度ベクトルが水平線と為す平均角度とし

た。

d) 踏切進入水平速度 (m/s)

踏切脚接地瞬時ににおける身体重心の水平速度を算出した。

e) 踏切速度 (m/s)

踏切脚離地瞬時ににおける身体重心の水平速度および鉛直速度を分けて算出した。

f) 着地速度 (m/s)

リード脚接地瞬時ににおける身体重心の水平速度および鉛直速度を分けて算出した。

g) 減速量 (m/s)

着地時の身体重心水平速度から踏切時の身体重心水平速度の差分とした。

h) 身体重心高 (m)

踏切脚離地瞬時の身体重心高とした。

## 2. 下肢動作

下肢動作については、股関節、膝関節および足関節について算出した。股関節角度は体幹ベクトルと大腿ベクトルの為す角度とした。膝関節角度は大腿ベクトルと下腿ベクトルの為す角度とした。足関節角度は下腿ベクトルと足部ベクトルの為す角度とした。また、下肢のセグメントについて、柴山ら(2011)に倣い鉛直線と大腿セグメントおよび下腿セグメントが為す角度および角速度を算出した(図4.5)。角度は、各歩の接地および離地時の値を算出し、角速度は支持期および滞空期における最大値と最小値を算出した。また、角速度については分析区間全体の所要時間に対する各局面に要した時間の割合を算出し(踏切:20%, ハードルクリアランス:63%, 着地:17%), 分析区間全体を100%として正

規化した。

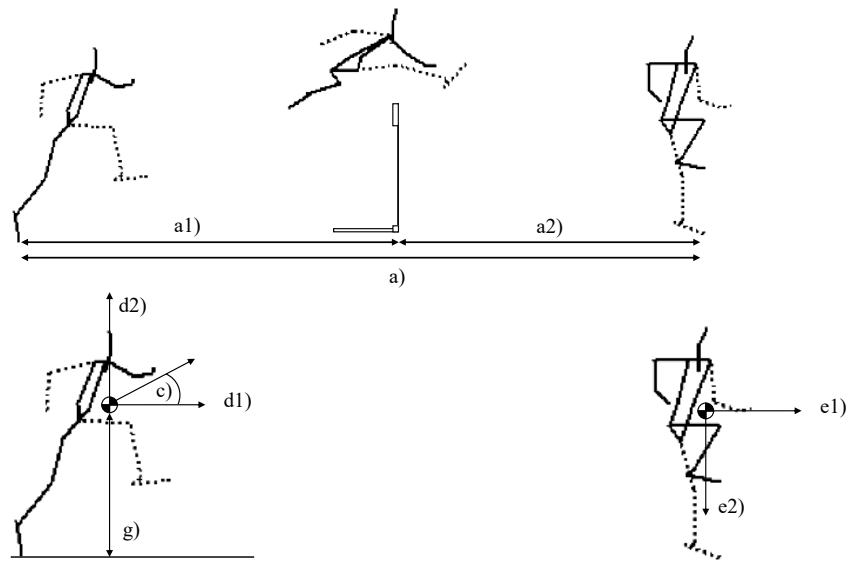


図44 ハードルクリアランス変数の定義

※a) ハードルクリアランス水平距離, a1) 踏切水平距離, a2) 着地水平距離, c) 踏切角度

d1) 踏切水平速度, d2) 踏切鉛直速度, e1) 着地水平速度, e2) 着地鉛直速度, g) 身体重心高

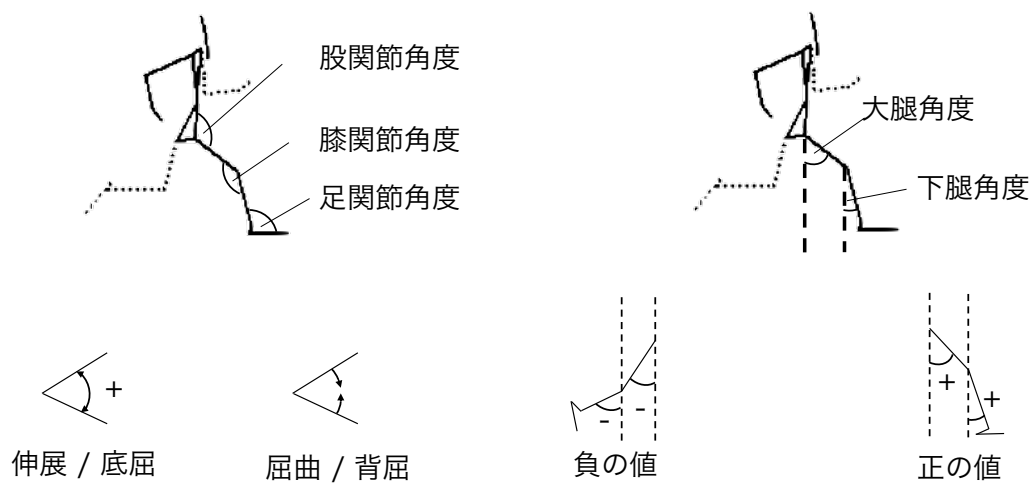


図4-5 下肢関節および下肢セグメントの定義

### 3. ステップパラメータおよび走速度

高速度カメラで撮影されたアプローチ区間およびインターバル区間における時空間変数として，ステップパラメータおよび走速度を下記のように算出した。

#### a) 接地時間および滞空時間 (秒)

各歩の支持時間および離地から次の歩の接地までに要した時間をそれぞれ算出した。

#### b) ステップ長 (m)

一方の足の接地からもう一方の足の接地までのつま先の水平距離とした。

#### c) ステップ頻度 (Hz)

1歩に要した時間の逆数とした。a) およびb) をもとに以下の式より算出した。

$$\text{ステップ頻度 (Hz)} = 1/(\text{接地時間} + \text{滞空時間})$$

d) 走速度 (m/s)

b) および c) の値をもとに以下の式より算出した。

$$\text{走速度(m/s)} = \text{ステップ長} \times \text{ステップ頻度}$$

なお、本研究では繰り返し試技を行なったおり、試技間に十分な休息は挟んでいるものの、疲労の影響による走速度の低下が懸念される。そこで、試技本数とインターバル走速度の関係を検討し、疲労の影響について検討した。

#### 4. ハードル接触の定量化

ハードル接触について、ハードルバー midpoint に貼付したマーカーの合成加速度を算出し、ハードルクリアランス中の時間を用いた二乗平均平方根処理 (RMS) をすることで実行値として算出し、この値をハードル接触の大きさとして定量化した。RMS の式は以下の通りである。

$$RMS[x] = \sqrt{\frac{1}{t} \sum_{i=0}^t x_i^2}$$

ここで、 $x_i$  はハードルバーの合成加速度であり、 $t$  はハードルクリアランス時間である。

### 第5項 統計処理

全ての値は平均値±標準偏差で表した。データの正規性について、Shapiro-Wilk 検定を用いて検証した。条件間における算出項目の比較について、パラメトリックデータについては対応のある t 検定を、ノンパラメトリックデータについては Mann-Whitney の U 検定を用いた。Family wise error を防ぐために、Holm 法による調整を行なった。また、Cohen's d を用いて効果量を表した (Cohen, 1992)。効果量について、0.2-0.5 を小、0.5-0.8 を中、>0.8 を大と定義した。ハードル接触の程度と減速度との相関関係の検討には、Pearson の積率相関係数を用いた。相関係数については、<|0.3| を弱い相関、|0.3|-|0.5| を中程度の相関、|0.5|-|0.7| を強い相関、|0.7|< を非常に強い相関とした (Hopkins et al., 2009)。全ての統計処理は、EZR version 1.37 (Kanda, 2006, 自治医科大学附属さいたま医療センター, 日本) を用いて行なった。有意水準は 5%未満とした。

### 第3節 結果

#### 第1項 ハードルクリアランス変数

表4-1に、NHTおよびHTにおけるハードルクリアランス変数を示した。踏切進入速度において、NHTおよびHT間の有意差が確認された ( $p = 0.037, d = 0.62$ )。減速量において、NHTおよびHT間の有意差が確認された ( $p = 0.002, d = 1.02$ )。身体重心高において、NHTおよびHT間の有意差が確認された ( $p = 0.037, d = 0.62$ )。

表 4-1 NHT および HT におけるハードルクリアランス変数

	NHT	HT
ハードルクリアランス水平距離 (m)	3.74±0.05	3.71±0.09
踏切水平距離(m)	1.85±0.09	1.89±0.11
着地水平距離(m)	1.89±0.12	1.82±0.15
ハードルクリアランスタイム (秒)	0.43±0.02	0.43±0.02
踏切角度(° )	15.5±1.5	15.5±1.6
踏切水平進入速度 (m/s)	7.70 ±0.19	7.59 ± 0.18 *
踏切水平速度 (m/s)	7.11 ±0.22	7.07±0.23
踏切鉛直速度 (m/s)	2.30±0.14	2.29±0.16
着地水平速度 (m/s)	6.928±0.20	6.88±0.22
着地鉛直速度 (m/s)	-2.06±0.12	-1.99±0.10
減速量 (m/s)	0.19±0.05	0.14±0.05 *
身体重心高 (m)	1.18±0.02	1.16±0.03 *

灰色で塗りつぶした箇所は有意差が認められた項目を示している(\*:p<0.05).



## 第2項 下肢動作

表 4-2 に、各歩の接地および離地における下肢関節角度を示した。踏切では、離地時のリード脚膝関節角度において NHT および HT 間の有意差が確認された ( $p = 0.003, d = 0.88$ )。着地では、接地時の踏切脚膝関節角度および離地時のリード脚膝関節角度において NHT および HT 間の有意差が確認された ( $p = 0.004, p < 0.00, d = 0.94, 1.45$ )。

表 4-2 各歩の接地および離地時における下肢関節角度

	踏切				着地				
	接地		離地		接地		離地		
	NHT	HT	NHT	HT	NHT	HT	NHT	HT	
股関節	リード脚 (°)	131.1 ± 3.1	132.3 ± 4.1	76.7 ± 5.8	78.3 ± 5.6	119.0 ± 1.9	117.3 ± 2.9	143.5 ± 3.4	142.4 ± 3.7
	踏切脚 (°)	130.1 ± 3.2	128.9 ± 4.4	154.8 ± 5.7	158.1 ± 7.2	64.7 ± 5.5	64.3 ± 5.6	118.9 ± 4.8	118.0 ± 6.7
膝関節	リード脚 (°)	63.2 ± 3.7	66.5 ± 5.5	*84.4 ± 8.7	*77.3 ± 7.7	146.6 ± 2.2	147.6 ± 3.1	*129.0 ± 4.7	*134.9 ± 3.7
	踏切脚 (°)	140.3 ± 5.5	139.2 ± 7.3	149.1 ± 7.8	147.7 ± 6.3	*58.4 ± 7.7	*50.4 ± 9.0	125.2 ± 4.4	123.5 ± 4.0
足関節	リード脚 (°)	121.5 ± 4.3	121.4 ± 5.3	92.0 ± 3.3	92.8 ± 5.1	113.9 ± 6.6	114.2 ± 6.1	127.9 ± 6.8	123.1 ± 6.6
	踏切脚 (°)	102.7 ± 5.8	100.8 ± 6.2	126.8 ± 7.4	124.0 ± 7.2	77.1 ± 3.1	80.0 ± 6.1	93.7 ± 5.0	94.1 ± 6.1

灰色で塗りつぶした箇所は有意差が認められた項目を示している(\*:  $p < 0.05$ ).

表 4-3 に、各歩の接地および離地における大腿角度、下腿角度を示した。踏切では、接地時のリード脚大腿角度において NHT と HT 間の有意差が確認された ( $p = 0.001, d = 1.02$ )。着地では、接地時のリード脚大腿角度および踏切脚下腿角度において NHT と HT 間の有意差が確認された ( $p < 0.00, 0.001, d = 1.14, 1.00$ )。また、離地時のリード脚大腿角度において NHT と HT 間の有意差が確認された ( $p < 0.00, d = 1.27$ )。

表 4-3 各歩の接地および離地時における大腿、下腿の角度

		踏切				着地			
		接地		離地		接地		離地	
		NHT	HT	NHT	HT	NHT	HT	NHT	HT
大腿	リード脚 (°)	*24.7 ± 4.5	*20.0 ± 4.6	94.5 ± 2.8	95.4 ± 3.3	*30.0 ± 2.5	*33.1 ± 2.9	*-12.6 ± 6.3	*-20.2 ± 5.6
	踏切脚 (°)	46.8 ± 3.0	47.9 ± 3.8	-3.1 ± 6.0	-1.6 ± 4.5	99.3 ± 6.6	96.3 ± 7.3	63.1 ± 6.4	63.8 ± 6.5
下腿	リード脚 (°)	-104.5 ± 5.6	-105.3 ± 5.9	8.9 ± 12.8	-0.6 ± 12.2	5.9 ± 3.3	8.1 ± 2.8	-56.2 ± 2.5	-54.3 ± 2.6
	踏切脚 (°)	7.3 ± 3.2	7.8 ± 3.2	-31.1 ± 2.4	-31.0 ± 1.8	*-26.2 ± 11.7	*-42.8 ± 18.8	10.3 ± 5.1	9.3 ± 6.5

灰色で塗りつぶした箇所は有意差が認められた項目を示している(\*:  $p < 0.05$ )。

表 4.4 に、踏切、ハードルクリアランスおよび着地におけるリード脚および踏切脚の股関節、膝関節、足関節の角速度の最大値および最小値を示した。踏切では、リード脚膝関節の最小角速度および足関節の最大角速度において NHT と HT 間に有意差が確認された ( $p=0.005, p<0.00, d=0.85, 1.06$ )。また、踏切脚股関節の最大角速度においても NHT と HT 間に有意差が確認された ( $p=0.009, d=0.80$ )。ハードルクリアランスでは、リード脚足関節の最大角速度において NHT と HT 間に有意差が確認された ( $p=0.001, d=0.86$ )。また、踏切脚股関節および膝関節の最大角速度において NHT と HT 間に有意差が確認された ( $p<0.00, p=0.002, d=1.21, 0.95$ )。着地では、リード脚膝関節の最大および最小角速度において NHT と HT 間に有意差が確認された ( $p<0.00, p=0.003, d=1.55, 0.93$ )。また、踏切脚膝関節の最大角速度および足関節の最小角速度において NHT と HT 間に有意差が確認された ( $p=0.009, 0.008, d=0.79, 0.67$ )。

表 4-4 各歩における下肢関節角速度の最大値, 最小値

	階切				ハーバルクリアランス				着地			
	NHT	HT	NHT	HT	NHT	HT	NHT	HT	NHT	HT	NHT	HT
リード脚 (° /s)	最大値											
	最小値											
股関節 階切脚 (° /s)												
リード脚 (° /s)												
膝関節 階切脚 (° /s)												
リード脚 (° /s)												
足関節 階切脚 (° /s)												

■ 灰色で塗りつぶした箇所は有意差が認められた項目を示している(\*: p < 0.05).

図4-6に、下肢関節における角速度の時系列変化を示した。分析局面中における条件間の大きな差異は確認されなかった。

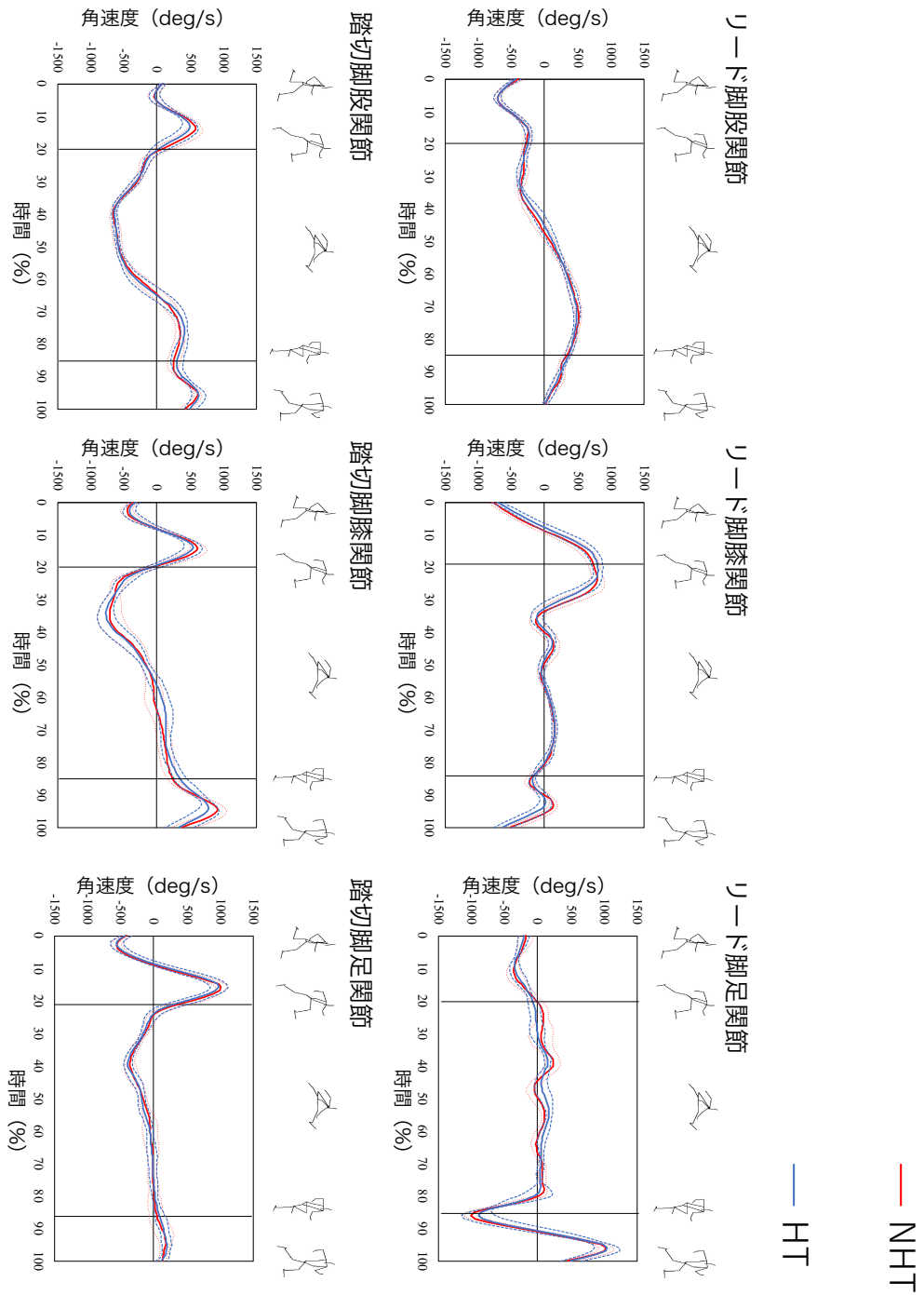


図4-6 下肢関節の角速度  
※実線は平均値、波線は標準偏差

表 4-5 に、踏切、ハードルクリアランスおよび着地におけるリード脚および踏切脚の大腿、下腿の角速度の最大値および最小値を示した。踏切では、リード脚大腿および下腿の最小角速度において NHT と HT 間に有意差が確認された ( $p=0.004, 0.006, d=0.89, 0.84$ )。また、踏切脚大腿の最小角速度においても NHT と HT 間に有意差が確認された ( $p=0.003, d=0.92$ )。ハードルクリアランスでは、リード脚大腿の最小角速度において NHT と HT 間に有意差が確認された ( $p=0.02, d=0.96$ )。着地では、リード脚大腿および下腿の最大角速度において NHT と HT 間に有意差が確認された ( $p=0.004, p<0.00, d=0.87, 1.32$ )。また、踏切脚大腿および下腿の最大角速度において NHT と HT 間に有意差が確認された ( $p=0.003, p<0.00, d=0.92, 1.16$ )。

表 4-5 各歩における大腿および下腿の角速度の最大値, 最小値

	階切				ハーバルクリアランス				普通															
	最大値	HT	最小値	HT	最大値	HT	最小値	HT	最大値	HT	最小値	HT												
リード脚 (° / s)	NHT	953.9 ± 58.9	HT	998.1 ± 53.5	NHT	*170.0 ± 101.6	HT	*256.9 ± 95.3	NHT	282.5 ± 36.8	HT	305.8 ± 35.1	NHT	*459.6 ± 27.7	HT	*491.1 ± 35.2	NHT	*221.1 ± 77.1	HT	*137.3 ± 104.9	NHT	-638.7 ± 78.3	HT	-693.3 ± 78.3
	階切脚 (° / s)	-167.6 ± 52.3	61.4	*654.4 ± 71.9	*715.4 ± 62.4	1062.8 ± 190.9	946.2 ± 237.7	-181.1 ± 63.3	-210.9 ± 71.1	*31.2 ± 38.1	*9.5 ± 47.3	-551.5 ± 76.4	-512.7 ± 53.0											
リード脚 (° / s)	NHT	1278.6 ± 83.0	HT	1255.4 ± 93.9	NHT	*31.6 ± 130.8	HT	*130.4 ± 108.5	NHT	1174.2 ± 52.8	HT	1171.1 ± 65.3	NHT	-586.6 ± 49.9	HT	-572.9 ± 58.8	NHT	*387.6 ± 36.5	HT	*319.9 ± 58.1	NHT	-695.9 ± 46.2	HT	-696.5 ± 57.7
	階切脚 (° / s)	-42.4 ± 47.6	HT	-41.8 ± 39.0	NHT	-628.9 ± 35.4	HT	-642.4 ± 32.5	NHT	390.9 ± 77.1	HT	387.3 ± 75.3	NHT	-494.9 ± 82.8	HT	-483.9 ± 100.3	NHT	*452.4 ± 45.3	HT	*569.5 ± 121.3	NHT	-91.4 ± 150.7	HT	16.3 ± 168.2

■ 灰色で塗りつぶした箇所は有意差が認められた項目を示している(\*: p < 0.05).

図47に、大腿および下腿における角速度の時系列変化を示した。踏切脚下腿では、ハードルクリアランス局面における中間以降で条件間の差異が確認されたが、分析局面全体における傾向では条件間の大きな差異は確認されなかった。



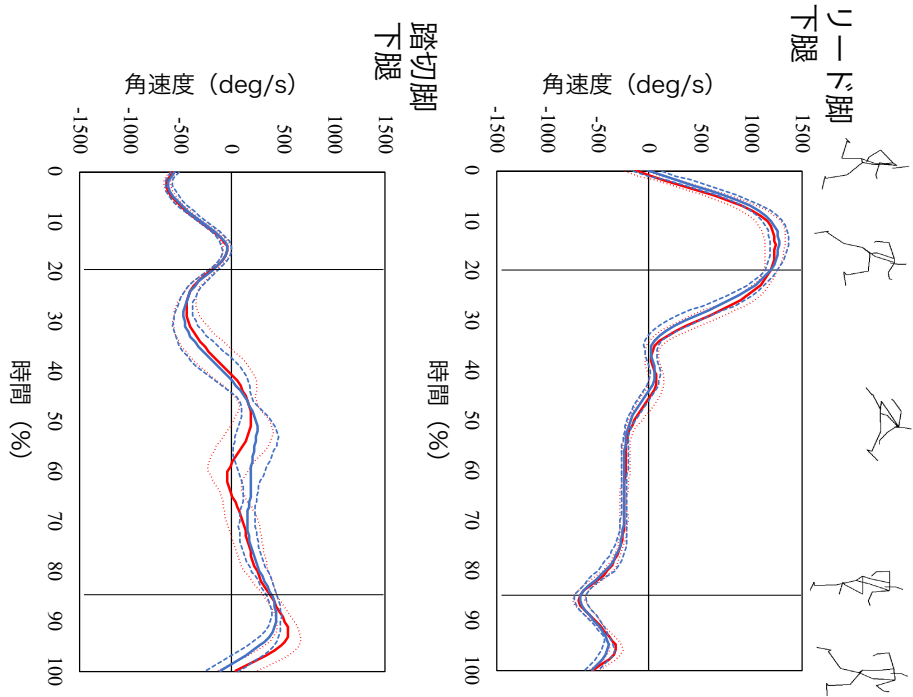
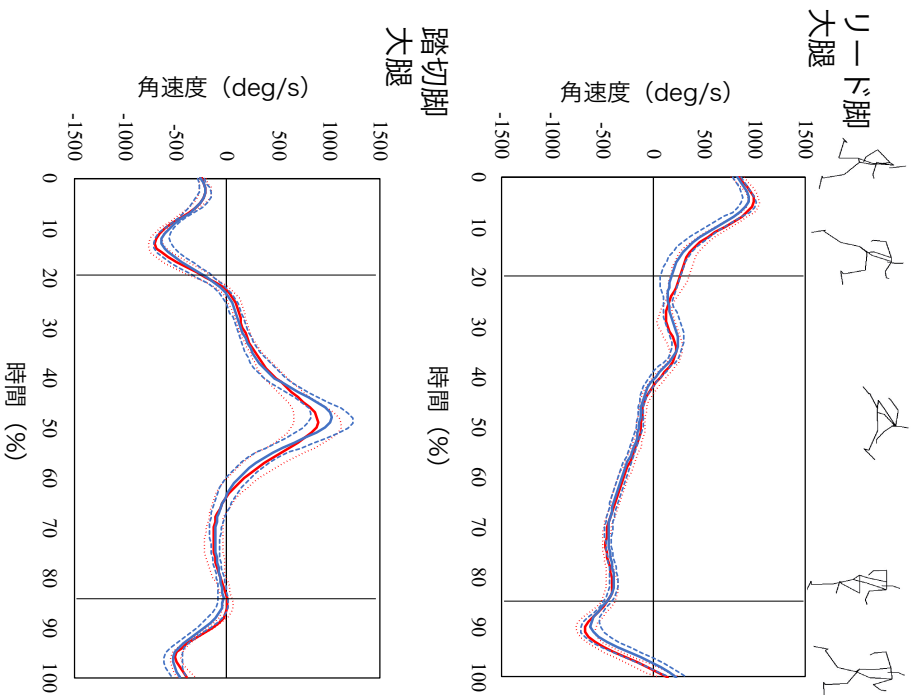


図 4-7 大腿および下腿の角速度

※実線は平均値，波線は標準偏差

### 第3項 ステップパラメータおよび走速度

表4-6に、アプローチ区間のステップ変数を示した。1歩目の支持時間にのみ有意差が確認された ( $p < 0.00, d = 1.10$ )。

表4-6 アプローチ区間におけるステップ変数

	1-2歩 (1歩)	2-3歩 (2歩)	3-4歩 (3歩)	4-5歩 (4歩)	5-6歩 (5歩)	6-7歩 (6歩)	7-8歩 (7歩)	(8歩)
<b>NHT</b>								
支持時間 (秒)	* (0.205 ± 0.014)	(0.182 ± 0.010)	(0.155 ± 0.015)	(0.149 ± 0.006)	(0.141 ± 0.006)	(0.129 ± 0.007)	(0.137 ± 0.005)	(0.136 ± 0.007)
滞空時間 (秒)	0.068 ± 0.018	0.080 ± 0.017	0.097 ± 0.021	0.102 ± 0.012	0.104 ± 0.007	0.101 ± 0.010	0.080 ± 0.010	
ステップ 長(m)	1.32 ± 0.04	1.09 ± 0.07	1.50 ± 0.04	1.46 ± 0.05	1.58 ± 0.05	1.73 ± 0.07	1.69 ± 0.08	
ステップ 頻度(Hz)	3.70 ± 0.28	3.84 ± 0.24	3.98 ± 0.21	4.01 ± 0.24	4.07 ± 0.10	4.35 ± 0.28	4.60 ± 0.15	
走速度 (m/s)	4.87 ± 0.43	4.17 ± 0.32	5.98 ± 0.26	5.85 ± 0.24	6.44 ± 0.23	7.51 ± 0.25	7.77 ± 0.30	
<b>HT</b>								
支持時間 (秒)	* (0.218 ± 0.011)	(0.181 ± 0.016)	(0.158 ± 0.012)	(0.148 ± 0.007)	(0.139 ± 0.008)	(0.131 ± 0.009)	(0.135 ± 0.006)	(0.132 ± 0.006)
滞空時間 (秒)	0.067 ± 0.019	0.088 ± 0.021	0.099 ± 0.019	0.107 ± 0.015	0.104 ± 0.007	0.101 ± 0.013	0.078 ± 0.013	
ステップ 長(m)	1.30 ± 0.05	1.11 ± 0.09	1.50 ± 0.05	1.46 ± 0.04	1.56 ± 0.06	1.71 ± 0.08	1.63 ± 0.10	
ステップ 頻度(Hz)	3.43 ± 0.29	3.64 ± 0.30	3.80 ± 0.25	3.83 ± 0.23	4.00 ± 0.15	4.24 ± 0.35	4.57 ± 0.24	
走速度 (m/s)	4.59 ± 0.40	4.15 ± 0.25	5.87 ± 0.29	5.75 ± 0.26	6.42 ± 0.26	7.41 ± 0.31	7.66 ± 0.26	

灰色で塗りつぶした箇所は有意差が認められた項目を示している(\*:  $p < 0.05$ )。

支持時間のみ括弧内の1歩, 2歩・・・に対応

表47に、インターバル区間におけるステップ変数を示した。1歩目支持時間および1-2歩目のステップ頻度、走速度に有意差が確認された ( $p < 0.00, d = 1.54, 1.09, 1.17$ )。また、区間の平均ピッチおよび平均走速度において有意差が確認された (平均ピッチ: NHT =  $4.86 \pm 0.11$  Hz, HT =  $4.71 \pm 0.14$  Hz,  $p < 0.00, d = 1.15$ ; 平均走速度: NHT =  $8.50 \pm 0.22$  m/s, HT =  $7.90 \pm 0.22$  m/s,  $p < 0.00, d = 1.17$ )。

表47 インターバル区間におけるステップ変数

	1-2歩 (1歩)	2-3歩 (2歩)	3-4歩 (3歩)	(4歩)
<b>NHT</b>				
支持時間 (秒)	*(0.113 ±0.004)	(0.149 ±0.007)	(0.140 ±0.007)	(0.134 ±0.004)
滞空時間 (秒)	0.041 ±0.008	0.109 ±0.011	0.100 ±0.008	
ステップ長 (m)	1.33 ±0.05	1.89 ±0.05	2.03 ±0.06	
ステップ頻度 (Hz)	*6.50 ±0.34	3.89 ±0.18	4.18 ±0.16	
走速度 (m/s)	*8.61 ±0.36	7.35 ±0.36	8.50 ±0.32	
<b>HT</b>				
支持時間 (秒)	*(0.119 ±0.004)	(0.149 ±0.006)	(0.142 ±0.008)	(0.133 ±0.004)
滞空時間 (秒)	0.05 ±0.01	0.11 ±0.01	0.10 ±0.01	
ステップ長 (m)	1.33 ±0.04	1.89 ±0.06	1.99 ±0.06	
ステップ頻度 (Hz)	*6.09 ±0.39	3.85 ±0.21	4.19 ±0.18	
走速度 (m/s)	*8.10 ±0.47	7.26 ±0.29	8.33 ±0.32	

灰色で塗りつぶした箇所は有意差が認められた項目を示している(\*:  $p < 0.05$ ).

図48に、試技本数とインターバル走速度との関係を示した。試技の繰り返しによって走速度が明確に低下する傾向は確認されなかった。

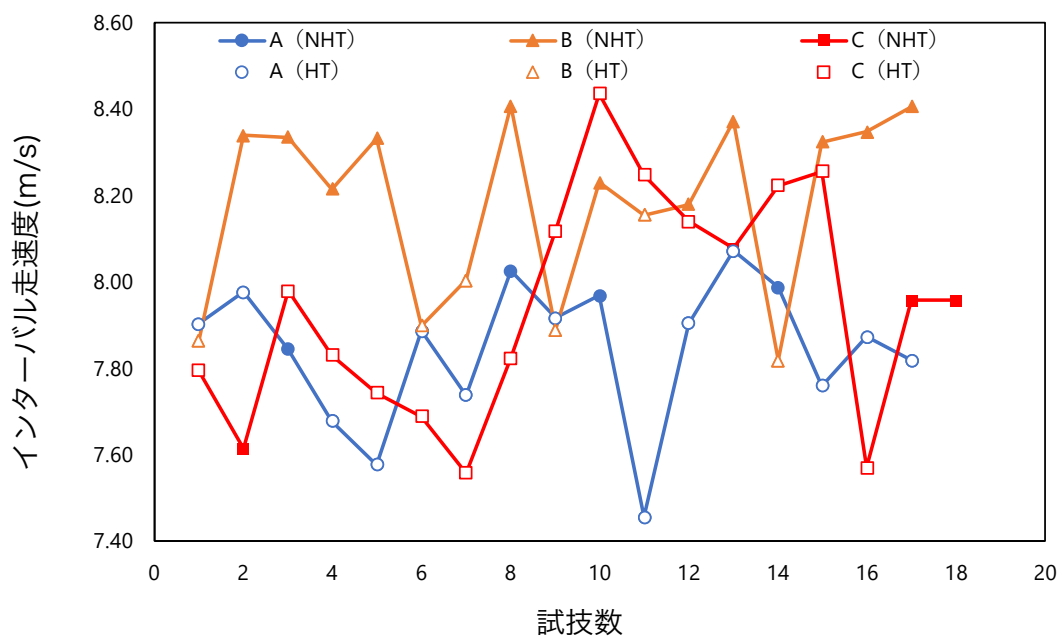


図48 試技本数とインターバル走速度

A-C: 被験者番号

#### 第4項 ハードル接触の程度と減速量の相関関係

図49に、ハードル接触の程度と減速量の関係を示した。両者の間に、有意な正の相関関係が認められた ( $p < 0.05, r = 0.45$ )。

図410に、接触した身体部位ごとのハードル接触の程度と減速量の平均値を示した。接触した身体部位によって、両者の関係が異なる傾向が見られた。リード脚での接触は、ハードル接触の程度に関わらず減速量が大きくなる傾向が確認された。踏切脚での接触は、ハードル接触の程度と減速量がともに小さい傾向が確認された。リード脚と踏切脚の接触は、ハードル接触の程度と減速量がともに大きい傾向が確認された。

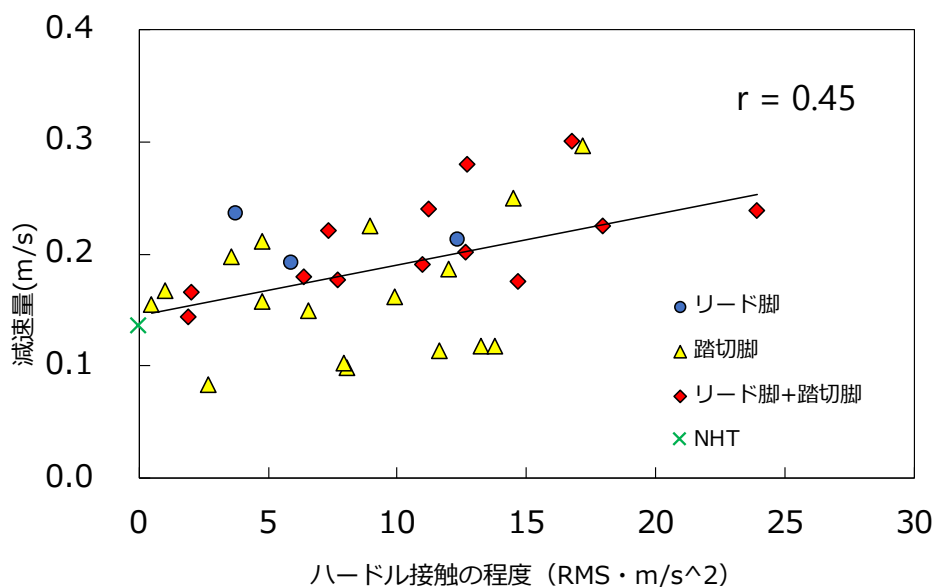


図49 ハードル接触の程度とハードルクリアランス中の水平速度の減速量との相関関係

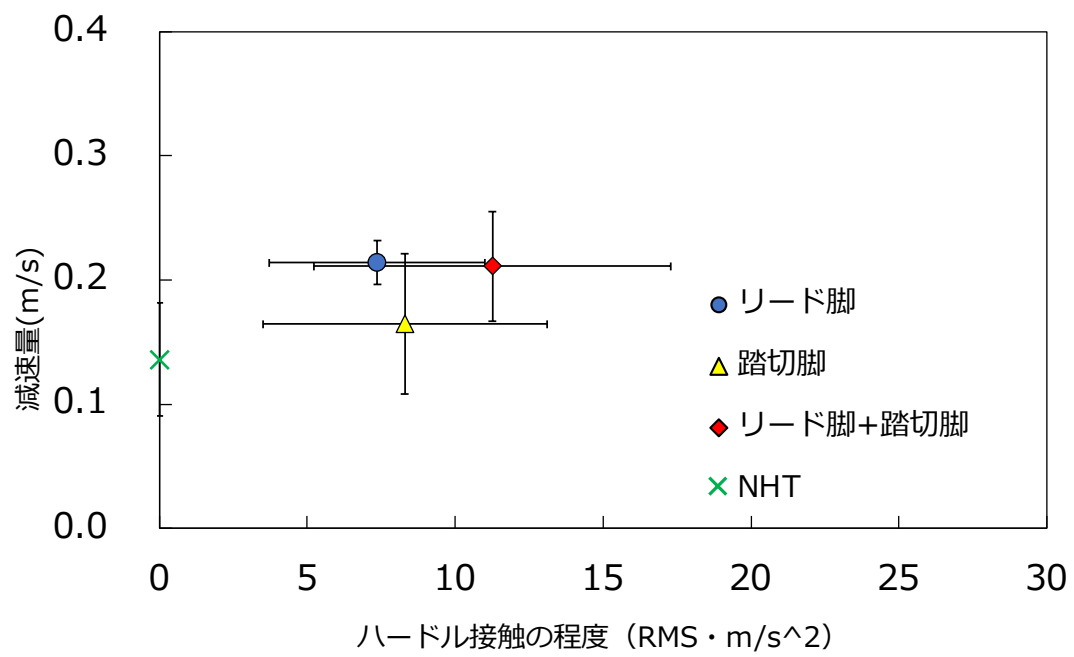


図410 ハードル接触の程度と減速度の関係におけるハードルに接触した身体部位別の平均値

## 第5節 考察

### 第1項 ハードルクリアランス変数とステップパラメータ

ハードルクリアランス変数では、踏切進入速度、身体重心高およびハードルクリアランス中の減速量にハードル接触試技（HT）と、非接触試技（NHT）に有意差が確認された。身体重心高については、研究（2）と同様の結果となり、従来のハードル接触の原因と考えられてきた踏切距離や踏切角度についても有意差が認められなかったことから、ハードル接触の主な原因は踏切瞬時の身体重心高が低いことであることが改めて示された。踏切進入速度について、NHTがHTよりも大きな速度で踏切局面に向かっていったことが明らかとなったが、その後の踏切瞬時には同程度の踏切水平速度および鉛直速度となっていた。踏切動作に伴って水平速度は減少し、鉛直速度が増大することが知られており（McDonald, 2002）、踏切局面中にNHTの方がより水平速度を失っていたことがわかる。この事実は、ハードル走パフォーマンス向上に対してネガティブであるが、ハードル接触を避けるためには踏切局面進入速度を大きくすることが必要である可能性が示された。飯干ら（2005）は、走幅跳選手の踏切局面中における水平速度の分析結果から、水平速度を大きく減少させていた選手はより大きな鉛直速度を獲得していたことを報告している。本研究では、踏切時の鉛直速度に条件間の差は確認されなかったが、水平速度の減少が大きいことで踏切瞬時の鉛直速度獲得を容易にしていた可能性が考えられる。

一方、減速量については研究（2）とは異なり、HTが有意に大きな減速量であった。研究（2）では、各被験者のHTはハードルバーの水平変位が最も大きな試技のみを分析対象とした。しかしながら、図46に示すように、ハードルに接触した試技の中には、非接触試技と同程度もしくは小さな減速量のものも含まれている。したがって、研究（2）のハードル接触試技には、小さな減速量の試技が複数含ま

れていた可能性が考えられる。本研究では、様々な種類の接触パターンおよびそれに伴う減速量を収集した結果、ハードル接触による減速には約 0.2m/s の幅があったことを明らかにした。これまで、ハードル接触について事例的に報告した先行研究では、ハードル接触による負の影響がある場合とそうでない場合の双方が報告されている (Graubner & Nixdorf, 2011; Pollitt et al., 2018)。本研究の成果から、これまでの先行研究で一致した見解が得られなかった要因は、ハードル接触による減速には約 0.2m/s 程度の幅があり、場合によっては非接触時の減速と変わらないパターンが存在するためであることが考えられる。また、本研究では研究 (2) で課題として残った接触後のインターバル走速度の変化についても検証した。その結果、HT では 1-2 歩目の走速度が有意に小さく、インターバルの平均走速度も有意に小さかった。同局面におけるステップ頻度についても、HT が有意に小さかったため、小さな走速度はステップ頻度に起因していたことが明らかとなった。これは、これまでの先行研究で示されてきた (森田ら, 1994; 一川ら, 2002; McDonald, 2002; 柴山ら, 2011; 柴山ら, 2019)、インターバル中の走速度とステップ頻度の関係性を支持するものであった。ハードル接触は、インターバル区間のステップ頻度に影響を及ぼし、結果的に走速度低下を招くことが明らかとなった。以上のことから、ハードル接触は接触自体によるハードルクリアランス中の速度低下と、インターバル中の走速度低下の 2 つの負の影響があることが示された。

## 第 2 項 下肢動作

下肢動作では、踏切において接地瞬時のリード脚大腿角度および離地瞬時のリード脚膝関節角度に有意差が確認された。矢田ら (2011) は、走速度の小さい競技者は走速度が大きい競技者と比較して、遊脚の回復が遅い動作的特徴を有していたことを報告している。このことから、踏切瞬時にリード脚大腿角



度が HT において有意に小さかったことは、踏切進入速度が小さいことに起因している可能性が考えられる。踏切離地時には、研究 (2) の結果とは異なりリード脚大腿角度は条件間で同程度となっていたが、膝関節角度は HT が有意に小さな値となっていた。踏切中、リード脚の最小大腿角速度は HT が大きかったものの、最小下腿角速度は HT が小さくなっており、大腿は積極的に振り上げる動作を行っていたものの、下腿が遅れていたことを示しており、いわゆる「脚が流れる」動作となっていたことが推察される。したがって、脚が流れるような動作は、リード脚の振り上げ動作に影響を及ぼし、これがハードル接触の要因である身体重心高に負の影響を及ぼしていた可能性が示された。踏切脚では、HT において股関節の伸展角速度および大腿の後方スイング速度が大きくなっていた。アプローチ区間におけるステップ変数では、HT が NHT よりも踏切 1 歩前から踏切にかけてステップ長を短縮する特徴が確認された (表 4.6)。この動作は走幅跳選手が踏切中のブレーキ成分を小さくし、滞空期に向けて大きく加速する方略と類似している (Hay & Nohara, 1990)。また、Lee et al. (2021) は、110mH のアプローチ区間では CoM と接地脚の位置が重要な要素であることを指摘している。HT は、アプローチ区間において NHT よりも全てのステップで走速度が小さい傾向にあったことから、踏切局面においてそれ以前で十分に獲得できなかった走速度を補償しようとしたことが推察される。その結果、踏切脚の股関節伸展角速度および大腿後方スイング速度が大きくなったと考えられる。伊藤と富樫 (1997) は、踏切では通常の疾走動作同様に脚を後方に素早くキックする動作が重要であると報告している。しかし、本研究の結果を踏まえると脚を後方へ素早くキックする動作は、ハードルクリアランス中およびその後のインターバル走速度が低下するハードル接触の遠因となる可能性があるため、この動作については慎重に解釈する必要があるだろう。

ハードルクリアランスでは、リード脚の足関節最大角速度および大腿最小角速度に有意差が確認され

た。また、踏切脚の股関節および膝関節最大角速度に有意差が確認された。リード脚大腿部の最小角速度は、着地前後に現れる（柴山ら，2011；図 4-7）。これは、着地に向けてリード脚を積極的に振り下ろす動作であると理解され、競技力向上に必要な動作とされている。しかしながら、ハードル接触が起きた場合、空中では外力が発生しないため身体のバランスが崩れるとされている（Salo & Scarborough, 2006）。つまり、HT で確認されたリード脚の大腿最小角速度はリード脚の積極的な振り下ろし動作ではなく、空中で崩れた身体バランスを補償するような動作であった可能性が考えられる。ハードルクリアランス中の踏切脚動作について、HT の股関節および膝関節の伸展最大角速度が小さくなっていた。踏切脚の股関節および膝関節は、着地に向けて伸展していき、着地後は踏切脚を素早く振り下ろすことが重要である（柴山ら，2011）。したがって、HT は NHT よりも着地に向けて踏切脚の振り下ろし動作の準備が行えていなかったことが推察される。以上のことから、ハードル接触によって着地に向けた準備動作がリード脚と踏切脚の双方で十分に行えなくなっていた可能性が示された。

着地では、多数の項目で有意差が確認された。このことから、ハードル接触は着地動作に大きな影響を及ぼしていたことが明らかとなった。HT のリード脚では、接地時の大腿角度が大きく離地時では小さくなっており、さらに膝関節では離地時により伸展位となっていた。HT の踏切脚では、接地時に下腿角度が小さく、これに伴い膝関節が屈曲位であった。角速度について、柴山ら（2011）は、疾走速度の大きい選手の特徴としてリード脚下腿の前方回転速度が大きいことを挙げている。本研究では、NHT と HT との間で前方回転速度の最大値（接地時の下腿最小角速度）には有意差はなかったものの、前方回転速度の最小値（接地時の下腿最大角速度）では HT が有意に小さくなっていた。つまり、NHT は支持期全体を通して大きな下腿の前方回転速度を有していたものの、HT では支持期全体を通じた高い下腿の前方回転速度を獲得できない動作であったことが示された。このような姿勢の違いが、インターバ

ル区間 1 歩目の支持時間の増大やステップ頻度減少, またインターバル区間全体のステップ頻度と疾走速度の低下という負の影響を及ぼしていた可能性が考えられる。本研究で示した角度および角速度は二次元分析にとどまっているため, 特に股関節では内外転および内外旋動作が複合された値となっているが, 柴山ら (2014) は疾走速度の高い選手ほどハードルクリアランス時の踏切脚の動作タイミングが遅かったものの関節動態は一定の傾向は見られなかったと報告している。したがって, 今後の研究では三次元動作分析を行うことも必要であるが, 疾走速度に最も影響を及ぼすインターバル走動作についても分析を行う必要があるだろう。

### 第 3 項 ハードル接触の程度と減速量の関係

ハードル接触の程度とハードルクリアランス中の減速量との関係では, ハードル接触の程度が大きくなるにつれ減速量も大きくなるという, 従来の理解を支持する結果が得られた。また, リード脚での接触は接触の程度に関わらず減速量が大きくなること, 踏切脚での接触は接触の程度が増大するにつれ減速量も大きくなるという接触部位による影響の差異も確認された。空中では外力が発生しないことから, ハードル接触によって進行方向と反対側の力が身体に作用し水平速度が減少する。リード脚は先行してハードルをクリアしていくため, ハードルクリアランス前半での接触が多くなることが予想される。つまり, ハードルクリアランスの早期にハードル接触するとハードル接触由来の減速期間が長くなるため, リード脚での接触は接触の程度に関わらず大きな減速量となると考えられる。踏切脚の場合, ハードルクリアランス後半の接触となる場合が多くなることが予想され, ハードル接触由来の減速期間はリード脚の接触よりも短くなると考えられる。

## 第6節 結論

本研究より、ハードル接触によってハードルクリアランス中の走速度は非接触時よりも低下するという従来理解されてきたハードル接触の影響が定量的に確認された。また、このハードルクリアランス中の減速量は、接触の大きさと相関関係にあり、さらに接触した身体部位によってその影響が異なることが明らかとなった。加えて、研究（2）では検証できなかったハードルクリアランス後のインターバル走速度の低下も確認され、これは着地動作が影響している可能性が示された。また、このインターバル走速度の低下はステップ頻度の低下に由来していたことが明らかとなった。したがって、ハードル接触はハードルクリアランス中の走速度低下を招くだけでなく、着地姿勢に影響を与え、続くインターバル区間の走速度低下も引き起こすことが示され、競技パフォーマンスに対して負の影響を及ぼすことが明らかとなった。

## 第5章

### 総括

## 第1節 ハードル接触の実態および関連要因について

本研究は、110mHにおけるハードル接触の実態と、発生要因や具体的な影響に関するバイオメカニクスの特徴を明らかとすることを目的とし、一連の研究（研究1，研究2，研究3）を実施した。研究1ではレース分析からハードル接触の実態を，研究2ではキネマティクス分析からハードル接触の原因と影響に関連する動作要因を，研究3ではハードル接触の影響の詳細を明らかにしようと試みた。本研究の特色は，レース中に頻発することが認識されているにも関わらず，これまで110mHに関する研究で言及されてこなかった「ハードル接触」に着目し，「どの程度ハードル接触がレース中に発生しているか」「どのような動作が原因でハードルに接触するのか」，「ハードルに接触した後の影響はどの程度か」について，定量的に検討したことである。以下，本研究より明らかとなったことについて総括していく。

## 第1項 ハードル接触の実態

研究1では、110mH走ではハードル接触が頻発している（Pollitt et al., 2018）という一般的認識から、ハードル接触がどの程度発生しているのか、またハードル接触することでレースパフォーマンスに負の影響を及ぼすという一般的な理解は正しいのかを調査した。結果、レース中にハードル接触は40%程度発生しており、その特徴はレース局面で異なっていた。また、ハードルに接触しなかった回数とレース順位との間に、ハードルが倒れるような接触はレースタイムおよびレース順位との間に中程度の相関関係が認められた。以上のことから、ハードル接触は比較的高い割合で発生していること、ハードル接触がレースパフォーマンスに対して少なからず負の影響を及ぼしていたことが明らかとなった。これまでハードル接触に関する定性的分析では、相反する結果が示されており、いずれも事例的報告にとどまっていた（Graubner & Nixdorf, 2011; Pollitt et al., 2018）。本研究の成果から、これまでのハードル接触がレース中に頻発している、ハードル接触がレースパフォーマンスに負の影響を及ぼすという一般的理解を科学的に裏づける結果となり、定性的分析にとどまっていたハードル接触の実態やその影響が定量的に示された。本研究成果は、ハードル走のパフォーマンス構造を理解する上で無視することができないハードル接触について理解を深める知見となる。

研究1の限界点として、公共動画共有サービスにアップロードされた動画を用いたため、レース中の区間タイムやハードルに接触した身体部位、ハードル接触の程度は特定できていないためハードル接触の影響については相関関係のみの言及にとどまっている。したがって、ハードル接触の影響については注意して解釈する必要がある。しかしながら、これまでハードル接触がレースパフォーマンスに対して負の影響を及ぼすという定性的評価のみに留まっていた点について、相関関係から一定の関係性が量化された。また、レース中のハードル接触パターンは動作的要因だけでなく、風速やレーン状況、順位

状況など様々な要因によって影響を受けることが予想される。こうした複合的な要因について検討する上で、本研究で得られたハードルの接触状況という基礎的知見が活用されることが期待できる。

## 第2項 ハードル接触の原因と影響

研究1では、ハードル接触の発生状況やレースパフォーマンスとの相関関係は明らかとなったものの、具体的にハードル接触による減速ほどの程度あるのか、またハードルに接触する原因については検討できなかった。そこで、研究2ではハードル接触に関連するキネマティクス分析を行うことで、ハードル接触の発生要因について検討を行った。結果、踏切瞬時の身体重心高が低いことがハードル接触の原因であったことが示された。これは、これまで一般的に理解されてきたハードルに近い位置での踏切や低い踏切角度といった要因とは異なり、大きなインパクトを及ぼすことが予想される成果であった。一方で、ハードル接触による有意な減速は確認されず、研究1のハードル接触によってレースパフォーマンスに負の影響があるという結果を否定する形となった。

McDonald & Dapena (1991b)は、ハードル競技者の基本的な技術としてリード脚を斜め前方に振り上げること、踏切脚を外転させて水平方向に内転する動作が必要であるとしている。また、ハードル接触を避けるために特定の動作パターンが必要であると指摘しているものの、具体的な動作パターンについては言及しておらず、上述した動作パターンがハードル接触を避けるための動作であるかは不明である。本研究の成果から、踏切瞬時の身体重心高を高くすることがハードル接触を避けるために必要となり、これを達成するためにはリード脚の振り上げ動作が重要となることが示された。したがって、ハードル競技者の基本的な技術として報告されているリード脚を斜め前方に振り上げる動作は、ハードル接触を避けるためにも重要な動作となることが明らかとなった。これまで、競技パフォーマンス向上のために



踏切局面では踏切脚の動作の重要性が指摘されている (McDonald & Dapena, 1991b; 伊藤と富樫, 1997; Coh, 2004)。これらの報告は、踏切局面中に水平速度をできるだけ維持するために必要な動作となる。

ハードル接触は、ハードルクリアランス局面中の水平速度減少を招くと考えられており、研究1の成果からも競技パフォーマンスに対して負の影響を及ぼす可能性が示されたことから、競技パフォーマンス向上にはハードル接触を避ける必要がある。本研究の成果から、ハードル接触による水平速度の減少を防ぐことによる競技パフォーマンス向上には、踏切局面中のリード脚動作が重要であることが示された。

ハードル接触によるハードルクリアランス中の水平速度減少は、従来の理解とは異なる結果となり、減速は確認されなかった。研究1では、ハードル接触とレースパフォーマンスとの相関関係から、ハードル接触はレースパフォーマンスに負の影響を及ぼす可能性が示されたため、研究2の結果はこれに反する結果となった。研究1の成果では、ハードルを倒すような大きな接触がレースパフォーマンスに負の影響を及ぼす可能性が示されており、研究2で分析対象となったハードル接触試技は、各被験者の中で最も大きなハードル接触ではあったものの、ハードルが倒れるような大きな接触は含まれていない。したがって、研究1の分類では *Slight hit* と同程度、もしくは *Slight hit* と *Knocking over the hurdle* の中間に位置するような大きさのハードル接触であった可能性が考えられた。先行研究でもハードル接触の影響について相反する結果が示されていたが (Graubner & Nixdorf, 2011; Pollitt et al., 2018)、ハードル接触の程度については具体的に言及しておらず、その程度が異なっていたため相反する結果となっていた可能性が考えられた。したがって、本研究で分析対象を抽出した際のハードルバーの最大水平変位では、ハードル接触の程度を適切に評価できない可能性がある。これは、本研究の限界である一方で、今後ハードル接触に関する分析を進めていく上で重要な視点となる。また、ハードルに接触した身体部位を特定し

てその影響を論じることができなかった。したがって、ハードル接触の影響については、課題が残る結果となり、これを研究3で検討することとした。

以上のことから、研究2の成果としてはハードル接触の原因となる動作がリード脚の振り上げが十分でないことに起因する身体重心高の低さであったことが定量化された。これは、ハードル走の基本的な技術要素であり、競技現場や学校現場での活用が期待される。特に、学校現場においては、競技者のバイオメカニクスの知見から考案された指導法の有効性も確認されており（大塚ら，2011）、ハードル接触が学習者のつまずきとなっていることから（松下ら，2012；松本，2018）、本研究の成果が広く活用される波及効果が期待される。

### 第3項 ハードル接触の影響は接触した身体部位によって異なるのか

研究1と研究2では、ハードル接触の影響について相反する結果が得られた。これは、ハードル接触の大きさによってその影響が異なり、結果が混在しているためと考えられた。そこで、研究3では様々な接触パターンおよび身体接触部位を分析し、ハードル接触の影響の詳細を検討した。結果、ハードル接触の大きさは、ハードルクリアランス中の水平速度減少量と中程度の相関関係にあった。これは、ハードル接触の影響に関する従来の理解を支持する結果となり、一般的認識に対して科学的な見通しを立てることができたと言える。また、ハードルに接触した身体部位によって水平速度減少量の傾向が異なり、リード脚での接触はハードル接触の大きさにかかわらず大きい傾向にあること、踏切脚での接触はハードル接触の大きさと比例関係にある傾向が確認された。さらに、ハードルクリアランス後のインターバル区間においてもハードル接触による走速度の低下が確認され、これはステップ頻度が低下したこと由来するものであった。研究1と研究2でハードル接触の影響について相反する結果が得られてい

たが、本研究の成果から、ハードル接触試技の中にはハードルクリアランス中の水平速度減少量が非接触時と同程度であるものが存在していたことが明らかとなった。このことから、ハードル接触の影響を検証する上で、ハードル接触の大きさや接触した身体部位は無視できないファクターであることが示された。

ハードル接触によって身体バランスが崩れることが指摘されており (Salo & Scarborough, 2006), これは続くインターバル区間の加速動作に影響を与える可能性が考えられる。ハードル接触試技では、着地ステップにおける下肢動作に差異が多く見られたことから、ハードル接触によって身体バランスが崩れ、着地動作に影響を与えていた可能性が考えられ、1歩目の支持時間の延長や、インターバル区間の走速度低下という負の影響を及ぼしていた可能性が示された。

研究3の限界として、ハードル接触の程度は統制できないため、リード脚での接触が少ないことから接触した身体部位別の影響をより詳細に明らかにできなかった点が挙げられる。また、本研究では、ハードル接触の程度は加速度をRMS処理した実行値として算出したが、ハードルに加えられた力そのものを測定できていないため、ハードル接触の程度の定量化に関する妥当性は今後の課題であると言わざるを得ない。しかしながら、本研究は、ハードル接触の定量化を試み、走速度との関係性を論じた世界で初めての試みであり、今後の当該分野の発展が期待できる。接触時間を見る必要もある？小学校中学年までは本当のハードルを飛ばないから、恐怖感を感じない。低くも中学年にはない。“走り越す”。文部科学省（走り越す）引用の部分についてはそう書いた方が良いのではないか。性差と教育的な部分について。女性の指導にどう活かすのか？何を指すのか？

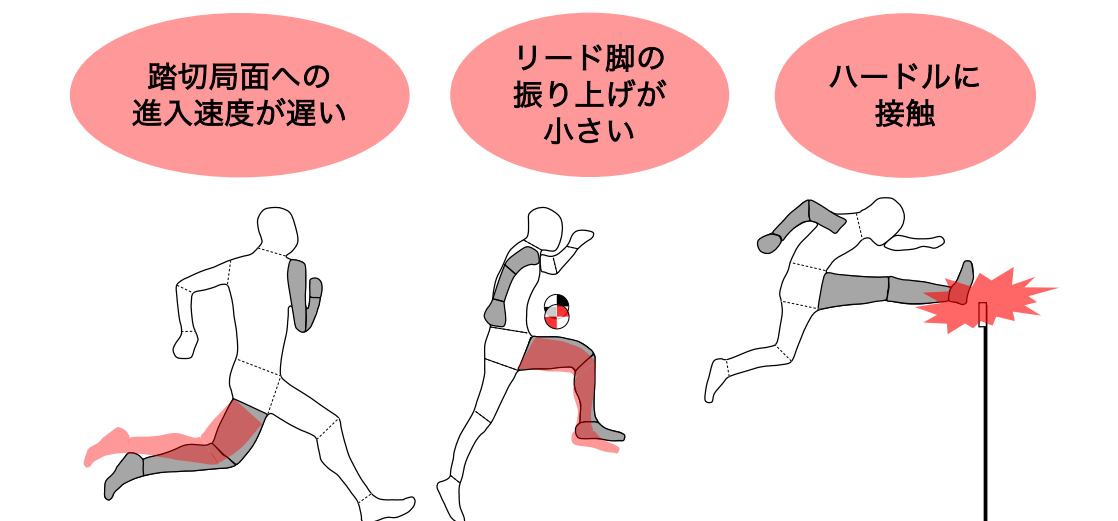


図 5-1 ハードル接触の原因と考えられる一連の動作

図中の赤で示した箇所はハードル接触試技 (HT) の特徴

## 第2節 本研究の成果と課題

### 第1項 ハードル接触の捉え方

本研究の成果は、これまでハードル走において頻発すると考えられてきたハードル接触を定量的に評価した初めての研究であり、ハードル走において無視できないハードル接触に関する研究の発展が期待される。これまでハードル接触は、学校体育では学習上のつまずきとしてハードル接触が挙げられており（松下ら、2012；松本、2018）、競技現場ではハードル接触がパフォーマンスに負の影響を与えるとされてきた（Pollitt et al., 2018）。本研究の成果から、ハードル接触は走速度に負の影響を与える場合と与えない場合が存在しており、ハードルを倒すような大きな接触はハードルクリアランス中の走速度低下を招くことが明らかとなった。さらに、ハードルクリアランス後のインターバル走速度低下も招いており、2つの負の影響があることが示された。以上のことから、ハードル接触には走速度に負の影響を与えない場合も存在するものの、ハードルへの接触は2つの負の影響を与えかねないため、従来の理解の通りハードル接触を避けるべきであると考えられる。本研究は、この点について定量的データから客観的に示すことに成功した。

ハードル接触の原因は、従来の理解であった踏切位置がハードルに近いことや、踏切角度が低いことではなく、踏切時の身体重心高が低いことであった。また、身体重心高の低さは、リード脚を十分に引き上げる動作が行えていないことに起因しており、これは踏切局面進入速度が小さかったことでいわゆる脚が流れていたことが遠因であったと考えられる。したがって、インターバル中に走速度を高く保ち、踏切局面まで維持しておくことは、パフォーマンス向上だけでなく（McDonald, 2002）、ハードル接触を避けるためにも有効であると推察される。本研究は、第1ハードルを対象として分析を行った

め、最大走速度が出現するレース中盤や、走速度が低下するレース後半では異なる要因によってハードル接触が発生する可能性もあるが、ハードルを超えるためには身体重心高を高くする必要があるため、踏切瞬時に身体重心高を高く保つことは、どの局面においてもハードル接触を避けるための基本的な技術であると考えられることから指導においても有効な手段と言えるだろう。また、本研究ではハードル高が最も高い110mHを対象としているが、他のハードル種目においても踏切瞬時の身体重心高を高く維持することは有効であるだろう。Salo et al. (1997) は、競技パフォーマンスの高い女子100mHはより水平にハードルを跳び超えていたことを報告している。これは、踏切角度が低くなっていたことを意味しており、踏切瞬時に身体重心高を高く保っておかなければハードルへの接触が発生する可能性が考えられる。したがって、踏切瞬時に身体重心高を高く保つことは、競技レベルやハードルの高さに関わらず、ハードル種目に共通するハードル接触を避けるための有効な技術となるだろう。以上のことから、本研究の成果はハードル種目全般でハードル接触を避けるための指導に新たな視点を与えるものであると言える。

## 第2項 競技におけるハードル走指導の留意点

競技におけるハードル走では、競技レベルの高い競技者ほど低くハードルを飛び越えていた (Salo et al., 1997) と報告されていることから、指導書においてもハードルはできる限り低く飛び越えることが良い技術として推奨されている (山崎, 2018)。しかしながら、雪下 (2020) は20歳以下の競技者規格では低く跳ぶ意識を持つことでうまく跳べない、ハードル高が低いのに接触してしまうといった競技パフォーマンスに対して負の影響と考えられるような現象が見られることを指摘している。また、McDonald & Dapena (1991a) は、ハードルを低く跳びこえる弊害としてインターバルランに要する距離が長くなるこ

とを指摘している。インターバル中の走速度を高めるには、ステップ頻度を高めることが重要であることが知られている（森田ら,1994；一川ら,2002；McDonald,2002；柴山ら,2011；柴山ら,2019）。これらのことから、ハードルを低く跳びこえる技術は競技レベルが極めて高い競技者にとっては有効な技術であるものの、多くの競技者に対してはハードル接触を誘発し、インターバルランも十分に走ることができなくなるといった負の影響を与える可能性が高いことが考えられる。

高さのあるハードルを飛び越えていくためには、ハードル高よりも身体重心が高くなるような最低限の鉛直速度を獲得する必要がある。最もハードル高の高い110mHでは約1.7m/sであるとされている（Salo et al.,1997）。ハードルを低く跳びこえるという教示は、踏切角度を小さくすることで身体重心高の上下動を抑える目的で行われている（山崎,2018）。しかしながら、踏切角度は鉛直速度と水平速度の合成で決定され、水平速度が高いことでハードルから遠い位置での踏切動作を可能にした結果として鉛直速度は小さくなる関係にある（Salo et al.,1997）。従って、ハードルを低く跳びこえるという教示は、踏切角度を小さくするよりもむしろ姿勢を低くするという動作に結びつく可能性が考えられ、本研究が明らかとしたハードル接触の要因である身体重心高の低さを招くと推察される。

上述してきたように、競技者においてもハードルを低く跳びこえるという動作は習得の困難な技術であり、ハードルを低く飛びこえようとすることでハードル接触の原因となる身体重心高の低さを招く可能性があるといえる。従って、競技者の指導ではハードルを低い踏切角度で跳びこえる動作はトップレベルの競技者に対して行うべき指導法であり、多くの競技者ではハードルに接触しないようにリード脚の積極的な振り上げ動作によって踏切局面中の身体重心高を高く保つような指導が有効である可能性が考えられる。

### 第3項 学校体育におけるハードル走学習の指導上の留意点

学校体育におけるハードル走の学習上のつまずきとして、ハードル接触に関連する恐怖心が挙げられ、授業では主に教材を工夫することで当たっても痛くないハードルを用いるケースが多い（阿久津ら，2012；松下ら，2012；渡辺，2014；松本，2018）。一方で、ハードル接触を避ける取り組みについては実践例が少なく（大塚ら，2011；Otsuka et al., 2015），具体的な動作についても言及はされていない。松下ら（2012）は、ハードルに対して恐怖を感じている児童はハードルに向かう際の走速度が低く、ハードル手前で大きなブレーキをかけている特徴があったことを報告している。本研究の成果から、ハードル接触の主たる要因は、踏切瞬時の身体重心高の低さであり、これは踏切局面進入走速度が小さいことでリード脚が後方に流れており、踏切時に十分にリード脚を振りあげられなかったことに由来することが明らかとなった。したがって、ハードル走学習では、ハードルに向かって走速度を高め、踏切瞬時の身体重心高を高く保つことでハードル接触を避けることができるかもしれない。しかしながら、ハードルに対して恐怖を感じている学習者は踏切局面に向けてブレーキをかける動作を行う特徴があることが報告されている（松下ら，2012）。このことから、まずはハードルに当たっても痛くないような工夫がされたハードル（例えば、ソフトハードルや塩化ビニル製ハードルなど）を使用して、ハードルに向かう走速度を高め、踏切時に姿勢を低くするのではなく高い姿勢で飛び越えるような指導場の留意点が有効である可能性が考えられる。

学習指導要領では、ハードル走に求める技術要素としてハードルを低く跳びこえることを挙げており、ハードルを低く跳び越える技術は、競技者にも求められる難易度が高い技術であり（McDonald & Dapena, 1991b；McDonald, 2002），ハードルクリアランス時間を短縮させることを目的として指導される技術であるが、ハードル走においてハードルクリアランス時間はパフォーマンスに影響を与えないことが競技



者に関する研究（森田ら，1994；柴山ら，2010；Tsiokanos et al., 2018），学校体育に関する研究（藤田ら，2009；伊藤，2009）の双方で示されている。したがって，ハードル走において低く跳び越えることは，必ずしもリズムよくハードルを跳び超えるために必要な技術ではない可能性がある。ハードルを低く跳び越える技術は，ハードルの高さやインターバル，教具を工夫することで習得は可能な技術であると考えられるが，競技者においても習得が非常に難易度の高い技術であると言えるだろう。また，本研究の成果から，ハードル接触の原因となる踏切瞬時の身体重心高を低くするような教示となりうる「低く跳び越える」技術は，再考の余地があると言わざるを得ないだろう。

学校体育におけるハードル走では，学習者の半数以上がハードルに対して恐怖感を感じていることが報告されている（松下ら，2012；松本，2018）。その理由には，ハードルの高さや接触による痛み，転倒などが挙げられている。松下ら（2012）は，ハードルの高さに恐怖を感じている学習者に対して，ハードルの高さを低い条件から学習を始めさせ，段階的にハードルの高さを上げていく指導によって学習のつまづきを克服できる可能性があることを示した。また，ハードルに対する恐怖感を低減させるためにハードル走の教材として自作の教具を用いた実践も散見され，阿久津ら（2012）や渡辺（2014）は，ハードル走の初学習者はハードル接触や転倒の恐怖感を感じることから，高さの調節を行えてかつハードルバー素材が柔らかい教具の有効性について報告している。松本（2018）は，ハードルバーがスポンジ素材の柔らかいソフトハードルを使用した授業実践によって，学習者のハードルに対する恐怖感については授業前後で和らぐ傾向にあったものの大きな変化は認められてなかったと報告している。一方で，ハードル走授業に対する好感度が26%から52%へ倍増していたことを報告しており，ハードル走への恐怖感を少しでも低減させることでハードル走学習に関心を持たせることができる可能性を示した。学校体育における学習者のつまづきの多くは，ハードル接触に伴う痛みや転倒に起因する恐怖心であること

から、教具を工夫することで学習者のつまづきを大きく解消することが可能であるだろう。

Otsuka et al. (2015) は、阿久津ら (2012) の開発した教具を用いてハードルを高く飛び越える指導法を実践し、ハードルにぶつかることなく安全に高く遠くへ跳ぶ練習を重ねたことでハードル走の技能を高めることができ、記録も向上したことを報告している。この指導法は、ハードル走学習者のつまづきであるハードルへ接触する恐怖感を軽減し、さらに記録が向上するという学習者にとって体育やハードル走学習の楽しさを味わうことのできる有効性を持っている。踏切時の高い身体重心高がハードル接触を避けることができるかもしれないという本研究の成果は、この指導実践がハードル接触を避けつつハードル走学習が行える点について確からしいと言える根拠となりうるだろう。また、この研究は、体育授業におけるハードル走技術の効率良い習得方法や、学習者のつまづきを解消し、楽しい授業実践が行えるかについて、専門競技者の動作を分析した結果得られたバイオメカニクスの知見をもとに考案している。先述したように、現行の指導案で示されているハードル走の技術は、専門競技者の動作的特徴に類似している点が見受けられる。言うまでもなく、専門競技者の動作を学校体育において習得させることは非常に困難であるが、競技者の分析から得られた知見は学校体育に反映されていることが窺える。したがって、専門競技者の分析から得られた知見は学校体育においても非常に有益な知見となると言えるだろう。

#### 第4項 本論文より期待される波及効果

本論文では、これまで一般的に認識されてきた「レース中にハードル接触が頻発している」「ハードル接触はレースパフォーマンスに負の影響を与える」という点を定量的に評価した。これまでのバイオメカニクスの研究の多くは、より良いスポーツパフォーマンスを目指し、レベルの高い競技者の特徴

や成功した動作を抽出した分析であった。本研究は、一般的に失敗動作と認識されることの多いハードル接触に着目し、その実態と特徴を明らかにしようとした。本研究の成果は、競技現場におけるパフォーマンス向上に寄与するだけでなく、学校現場においても活用可能な知見が獲得され、波及効果が期待される。本論文を構成している1編 (Iwasaki et al., 2020; ISBS Proc. Arch. Iss.38, Article 69, pp 268–271.)

は、すでに国際雑誌数編に引用されており (González-Frutos et al., 2020 ; Kaisidou et al., 2021 ; Ntolaptsis & Panoutsakopoulos 2021), ハードル走レースの評価を行う際にはハードル接触の影響を考慮する必要があるという認識が広まりつつある。研究2を構成した1編 (Iwasaki et al., 2021; J. Human. Kinetics) も、インパクトファクター2.19の国際雑誌に掲載されており、今後の波及効果が多いに期待できる。

本研究の成果は、競技現場だけでなく、学校教育現場にも還元できる重要な示唆を得ている。大塚ら (2011) は、競技者のバイオメカニクス的分析から得られた知見は学校体育においても活用できることを示しており、実際に競技者の特徴と学校体育におけるハードル走の特徴で差異の無い変数を参照した指導方法の有効性を示した。学校体育におけるハードル走では、ハードル接触に伴う転倒や痛みに対する恐怖心から学習者のつまずきが発生している。これまでのハードル走の指導では、低くハードルを飛び越えるような指導が推奨されてきたが、ハードルを低く飛び越えるような教示は踏切時の身体重心高を低くし、結果的にハードル接触を招く危険性を孕んでいることが推察される。本研究の成果から、リード脚の積極的な振り上げ動作による身体重心高を高く保つ指導方法が、ハードル接触を減らすことにつながると期待される。したがって、本研究から競技パフォーマンスはもちろん、学校体育における指導法の工夫にもつながる有益な知見が獲得されたといえ、多方面に対する波及効果があると予想される。

## 第5項 今後の課題と将来の展望

本論文では、これまで定性的分析にとどまっていたハードル接触について、定量的分析を行ったことで一定の見通しを与えられた。本研究は、ハードル接触における定量的分析のパイロットスタディである。したがって、ハードル接触の実態やハードル接触に関連するバイオメカニクスの要因に関するデータは不十分であるため、今後の研究でデータを蓄積していく必要がある。加えて、本研究では男子のハードル種目である 110mH のみを対象としたが、女子 100mH ではハードル接触の影響が重大となる可能性が指摘されているため (Pollitt et al., 2018), 100mH についても同様の分析を行うことで、ハードル接触の実態をより詳細に明らかにすることが可能になるだろう。また、本研究ではハードル接触に関連するキネマティクス要因について、第1ハードルのみを対象とした。これは、分析対象よりも前のハードルの影響を除外するためであったが、志賀ら (2003) は第1ハードルのハードルクリアランス動作は第4ハードルと比較して、踏切局面中の身体重心高が低く踏切角度が大きい特徴を有していたことを報告している。従って、本研究で明らかとなったハードル接触の原因と考えられる動作要因は第1ハードル特有の動作的特徴である可能性が考えられる。今後の研究では、他のハードルとの比較からハードル接触の原因となる動作要因についてさらに検討していく必要があるだろう。

ハードル接触の実態について、より詳細に明らかにするためには、様々な条件を同時に蓄積していくことが必要となる。例えば、風速やレーン条件、使用しているハードルの素材などが挙げられる。これらのデータを用いて重回帰分析を行うことで、最もハードル接触に影響を与える因子を明らかにすることができるだろう。Pollitt et al. (2018) は、レース中のインターバルタイムや速度以外にハードル接触の状況を合わせて報告している。今後、レース分析研究においてハードル接触に関する情報が蓄積されていくことで、より詳細にハードル接触の実態を明らかとすることができるだろう。また、ハードルの素材

については、その剛性が競技パフォーマンスに影響を及ぼすことが予想される。Iwasaki et al. (2021) は、ハードルのバー素材の力学的特性の差異を調査し、競技パフォーマンスに与える影響を明らかにしようとする試みを行なっている。上述したような要素を基にしたデータベースを構築していくことで、ハードル接触の実態がより詳細に明らかにできるだけでなく、ハードルバー素材の在り方などのルールを改めて検証するといった社会的な波及効果を生み出すことが期待される。

ハードル接触に関連するバイオメカニクス的研究について、本研究では基礎的なデータの提示のみに留まっており、詳細の動力学的メカニズムについては言及できていない。また、本研究の対象者は競技レベルが高い競技者ではなかったため、より幅広い競技者を対象に分析を行うことが必要になると考えられる。これまでのハードル走のバイオメカニクス的研究では、競技レベルの高い選手に関する特徴は一定の傾向がみられないことが報告されている（柴山ら、2013）が、ハードル接触に関する記述はされておらず、ハードル接触試技が含まれている可能性は否定できない。本研究の成果から、ハードル接触は非接触試技との動作的差異も確認されており、ハードル接触を考慮した分析が必要であると考えられる。また、すでに国際雑誌数編に引用されている通り（González-Frutos et al., 2020；Kaisidou et al., 2021；Ntolaptsis & Panoutsakopoulos 2021）、ハードル接触の影響はハードル走研究において無視してはいけない要素であるという認識が広まりつつある。したがって、今後のハードル走の研究ではハードル接触の有無に関する記載をすべきであろう。本研究の成果は、こうした学術的な波及効果も持っていると言える。

体育・スポーツ分野では、競技者や指導者の経験から理解される現象や動作による指導法が一般的である。この指導法は、時に客観性を欠く場合があり、動作改善を妨げたりスポーツ障害を助長したりする可能性がある。ハードル接触についても、これまで競技現場・学校現場の双方でハードル接触に関する定量的分析による検証は行われておらず、ハードル接触に関する認識は競技者・学習者・指導者の経

験的な認識であり客観性を欠く場合があった。特に、学校体現場では、ハードル走に関する苦手意識がある学習者が多く、その指導法に苦慮することも多い。本研究の成果から、ハードル接触は身体重心高、特にリード脚の振り上げが小さいことで発生する可能性が示されている。そこで、ハードル走に指導において、低い姿勢で跳び越える指導法の妥当性について提唱したい。低い姿勢で跳び越えることは、ハードルクリアランス時間を短くすることが目的とされていると考えられるが、学校体育から競技現場まで、様々な対象の研究を概観するとハードルクリアランス時間は記録に影響を与えないことが明らかとなっている（森田ら，1994；安井ら，1996；藤田ら，2009）。加えて、Otsuka et al. (2015)が示すように、高くハードルを跳び越える指導法の有効性も示されている。大塚ら（2011）が報告するように、競技者のバイオメカニクス的分析から得られた知見は学校体育においても有効であると考えられる。本研究の成果についても、学校体育におけるハードル走の指導法に有益な知見であると考えられ、低い姿勢で跳び越える指導ではなく、疾走中の姿勢（重心高）を保ちつつ、リード脚を積極的に振り上げるような指導がハードル接触を避けながら学習を行える実践につながることを期待される。

## 図表一覧

### 図一覧

図 1-1	ハードル走における 1 サイクル動作の定義	15
図 1-2	本論文における研究実施のフローチャート (研究 1~研究 3)	21
図 2-1	各順位におけるレース記録	28
図 2-2	接触パターン出現回数とレース記録および順位との関係	30
図 3-1	実験設定	40
図 3-2	分析区間	43
図 3-3	ハードルクリアランス変数の定義	44
図 3-4	下肢セグメントの定義	44
図 4-1	実験設定	58
図 4-2	マーカーセット	59
図 4-3	分析区間	60
図 4-4	ハードルクリアランス変数の定義	62
図 4-5	下肢関節および下肢セグメントの定義	63
図 4-6	下肢関節の角速度	72
図 4-7	大腿および下腿の角速度	76
図 4-8	試技本数とインターバル走速度	76
図 4-9	ハードル接触の程度とハードルクリアランス中の水平速度の減速量との相関関係	80
図 4-10	ハードル接触の程度と減速量の関係におけるハードルに接触した身体部位別の平均値	81

図 5-1 ハードル接触の原因と考えられる一連の動作..... 95



表一覧

表 2-1	分析対象レース	25
表 2-2	レース中の各ハードルにおける接触パターンの出現回数	29
表 2-3	レース局面別の接触パターンの出現回数	29
表 2-4	個人内の接触パターンの出現回数と順位およびレース記録間の相関係数	30
表 3-1	対象者の身体的特性	39
表 3-2	NHT および HT におけるハードルクリアランス変数	46
表 3-3	踏切瞬時および着地瞬時のリード脚, 踏切脚における下肢関節角度	47
表 3-4	踏切瞬時および着地瞬時のリード脚, 踏切脚における大腿, 下腿の角度	48
表 3-5	踏切瞬時および着地瞬時のリード脚, 踏切脚における股関節, 膝関節, 足関節の角速度	49
表 3-6	踏切瞬時および着地瞬時のリード脚, 踏切脚における大腿, 下腿の角速度	50
表 4-1	NHT および HT におけるハードルクリアランス変数	67
表 4-2	各歩の接地および離地時における下肢関節角度	68
表 4-3	各歩の接地および離地時における大腿, 下腿の角度	69
表 4-4	各歩における下肢関節角速度の最大値, 最小値	71
表 4-5	各歩における大腿および下腿の角速度の最大値, 最小値	74
表 4-6	アプローチ区間におけるステップ変数	77
表 4-7	インターバル区間におけるステップ変数	78

## 参考文献

- Amara S., Mkaouer B., Chaabene H., Negra Y., Bensalah, Z. F. (2019) Key kinetic and kinematic factors of 110-m hurdles performance. *Journal of Physical Education and Sport*. 19 (1): 658–668.
- 阿久津千尋, 山本篤, 浦田達也, 中村力, 伊藤章. (2012) 痛くない, 怖くない! 塩ビパイプで作るミニハードル. *体育科教育*, 60(6): 44–45.
- 阿江通良, 藤井範久. (2002) スポーツバイオメカニクス 20 講. 朝倉書店.
- 阿江通良, 湯海鵬, 横井孝志. (1992) 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. *バイオメカニズム*, 11: 23–33.
- Bedini R. (2012) Drills for Top-level hurdlers. *New Studies in Athletics*; 27 (1/2): 79–83.
- Coh M. (2003) Biomechanical analysis of Colin Jackson's hurdle clearance technique. *New studies in Athletics*, 18(1): 37–45.
- Coh, M. (2004) Biomechanical analysis of 110m hurdle clearance technique. *Modern athlete and coach*, 42(4): 4–8.
- Coh M., Iskra J. (2012) Biomechanical Studies of 110 m hurdle clearance technique. *Sport Science*: 5(1): 10–14.
- Cohen J. (1992) A power primer. *Psychological Bulletin*, 112 (1): 155–159.
- 藤井範久, 宮下憲, 阿江通良. (1997) ハードル走における下肢 3 次元関節トルクおよびトルクパワー. *バイオメカニクス研究*, 1 (1): 41–50.
- 藤田育郎, 池田延行, 綿貫功, 江木俊輔. (2009) ハードル走におけるハードリングとインターバルの疾走の関連性についての研究-小学校高学年を対象としたハードリング動作のバイオメカニクスの分析. *スポーツ教育学研究*, 29(1): 17–27.
- González-Frutos P., Veiga S., Mallo J., Navarro E. (2020) Evolution of the Hurdle-Unit Kinematic Parameters in the 60 m Indoor Hurdle Race. *Applied Sciences*, 10(21):7807.

- Graubner R., Nixdorf E. (2011) Biomechanical analysis of the sprint and hurdles events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 26 (1/2): 19 – 53.
- Harrington E., Zavatsky B., Lawson M., Yuan Z., Theologis N. (2007) Prediction of the hip joint centre in adults, children, and patients with cerebral palsy based on magnetic resonance imaging. *Journal of Biomech.*, 40 (3): 595 – 602.
- Hay J., Nohara H. (1990) Techniques used by elite long jumpers in preparation for take-off. *Journal of Biomechanics*, 23 (3): 229–239.
- Hobara H., Kobayashi Y., Mochimaru M. (2015) Spatiotemporal Variables of Able-bodied and Amputee Sprinters in Men's 100-m Sprint. *International Journal of Sports Medicine*, 36 (6): 494 – 497.
- Hopkins W., Marshall S., Batterham A., Hanin J. (2009) Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41 (1): 3 – 12.
- 一川大輔, 宮下 憲, 谷川 聡, 横澤俊治, 金子公宏. (2002) 110m ハードル選手の競技力向上に関する事例的研究～日本人 13 秒台選手を対象として～. *陸上競技研究*, 48 (1): 26-33.
- 伊藤章. (2009) 短距離走・ハードル走授業の間違った常識—科学研究が明らかにした事実. *体育科教育*, 57 (6): 22–25.
- 伊藤章, 富樫勝. (1997) ハードル走のバイオメカニクス的研究：スプリントとの比較. *体育学研究*, 42 (4): 246–260
- Iskra J., Matusiński A., Otsuka M., Guex J. (2021) Pacing strategy in men's 400 m hurdles accounting for temporal and spatial characteristics of elite athletes. *Journal of human kinetics*. 79(1): 175 – 186.
- 飯干明, 大村一光, 小山宏之, 村木有也, 阿江通良. (2005) 日本一流男子走幅跳選手の踏切準備と踏切動作のバイオメカニクスの分析. *陸上競技研究紀要*, 1: 137–141.

Iwasaki R., Nunome H., Shariman I. (2021) Differences in mechanical properties of hurdle bars.

*XXVIII Congress of the International Society of Biomechanics*. PA045.

地曳克浩.(2003)6年ハードル走. 渡邊彰ほか編 教育技術 MOOK 評価と学習カード体育科小学校1～6年. 小学館, pp.210-213.

Kaisidou V., Gaitanidis L., Panoutsakopoulos V. (2021) Relationships between the technique index and performance in 60-m hurdle indoor races in elite male heptathletes. *Trends in Sport Sciences*, 28 (2): 137–145.

木下光正, 清水由.(2005)苦手な運動が好きになるスポーツのコツ②陸上. ゆまに書房, pp.16–21.

郡山強.(2000)3ハードル走の授業. 杉山重利ほか編新学習指導要領による小学校体育の授業第6学年. 大修館書店, pp.130–136

LaFortune A. (1988) Biomechanical analysis of 110 m hurdles. *Track and Field News*, 105: 3355–3365.

Lee R., Sarah C., Marcus D., Jon W. (2021) Effect of hurdling step strategy on the kinematics of the hurdle clearance technique, *Sports Biomechanics*, published online.

松本茂.(2018)自ら学ぶ意欲を育む授業実践陸上競技（ハードル走）の実践から, *中等教育研究紀要*, 65: 75–79.

松下健二, 住本明日香, 高藤順.(2012)ハードル走を全員が走りきれするための技術指導に関する研究. *兵庫教育大学研究紀要*, 40: 145–152.

McDonald C. (2002) Hurdle Is Not Sprinting. *Track Coach*, 161: 5137–5143.

McDonald C., Dapena J. (1991a) 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.

McDonald C., Dapena J. (1991b) Angular momentum in the men's 110-m and women's 100-m hurdles races.

*Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23 (12): 1392–1402.

Mclean B. (1994) The biomechanics of hurdling: Force plate analysis to assess hurdling technique.

*New studies in Athletics*, 9 (4): 55–58.

宮代賢治, 山元康平, 内藤景, 谷川聡, 西嶋尚彦. (2013) 110mH レースにおけるモデルタッチダウンタ

イムの再検討: 13.71s—14.59s の競技者を対象として. *筑波大学体育系紀要*, 36: 59–67.

文部科学省. (2018a) 中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 保健体育編. 東山書房: 京都.

文部科学省. (2018b) 小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 体育編. 東山書房: 京都.

森丘保典, 杉田正明, 松尾彰文, 岡田英孝, 阿江通良, 小林寛道. (2000) 陸上競技男子 400m ハードル

走における速度変化特性と記録との関係: 内外一流選手のレースパターンの分析から.

*体育学研究*, 45 (3): 414–421.

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.

本村清人. (1999) 陸上競技. 本村清人ほか編 新中学校教育講座保健体育. ぎょうせい, pp.84-92

Mueller H., Hommel H. (1997) Biomechanical research project at Vith World Championships in Athletics, Athens 1997:

preliminary report. *New studies in Athletics*, 12(2/3): 43–73.

Nagahara R., Wakamiya M., Shinohara S., Nagano A. (2021) Ground reaction forces during sprint hurdles. *Journal of Sports*

*Sciences*, 39(23): 2706–2715.

Nagahara R., Zushi K. (2013) Determination of foot strike and toe-off event timing during maximal sprint using kinematic data.

*International Journal of Sport and Health Science*, 11, 96–100.

Ntolaptsis K., Panoutsakopoulos V. (2021) RELATIONSHIP BETWEEN REACTION TIME, MEDAL WINNING AND PERFORMANCE IN THE 60 m HURDLE INDOOR EVENT BEFORE AND AFTER THE CHANGE OF FALSE START RULE. *Acta Facultatis Educationis Physicae Universitatis Comeniana*, 61(1).

Otsuka M., Isaka T. (2019) Intra-athlete and inter-group comparisons: Running pace and step characteristics of elite athletes in the 400-m hurdles. *PloS one*, 14(3), e0204185.

Otsuka M., Otomo S., Isaka T., Kurihara T., Akutsu C. (2015) Teaching material based on biomechanical evidence: ‘high-jump hurdles’ for improving fundamental motor skills. *Biomedical Human Kinetics*, 7(1): 147 -155.

大塚光雄, 伊藤美智子, 伊藤章. (2011) スポーツバイオメカニクスから得たハードル走の新しい指導法の有効性の検討—小学校6年生を対象にした体育授業—. *体育科教育学研究*, 27 (1): 1-18.

小川康永. (2002) 陸上運動ハードル走. 池田延行ほか編 子どもの体と心が弾む体育科の授業と評価 6年. 教育出版, pp.58-63.

Pollitt L., Walker J., Bissas A., Merlino S. (2018) Biomechanical report for the IAAF World Championships LONDON 2017 110 m hurdles Men’s. <https://www.worldathletics.org/about-iaaf/documents/research-centre>, 1-55 (accessed 29<sup>th</sup>.May.2020) .

Salo A., Scarborough S. (2006) Change in technique within a sprint hurdle run. *Sports Biomechanics*, 5 (2): 155-166.

Salo A., Pauln G., Leith M. (1997) 3-D biomechanical analysis of sprint hurdles at different competitive levels. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29: 231 – 237.

Salo A., Bezodis I., Batterham A., Kerwin G. (2011) Elite Sprinting: Are Athletes Individually Step-Frequency or Step-Length Reliant?. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 43(6): 1055 – 1062.

- 柴山一仁, 川上小百合, 谷川聡.(2010)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 [編] 日本陸上競技連盟*.76-85.
- 柴山一仁, 藤井範久, 阿江通良.(2011)一流ハードル走選手の1サイクル動作に関するキネマティクス的研究:疾走速度および脚長と動作の関連から. *体育学研究*,56(1):75-88.
- 柴山一仁, 藤井範久, 阿江通良.(2013)一流110mハードル走選手のハードリング動作に関するバイオメカニクスの分析:角運動量保存則からの検討. *体育学研究*,58(1):135-149.
- 柴山一仁, 藤井範久, 門野洋介, 阿江通良.(2014)国内外110mハードル走選手のハードリング動作に関する3次元キネマティクスの研究. *陸上競技学会誌*12(1):45-53.
- 柴山一仁, 貴嶋孝太, 森丘保典, 櫻井健一.(2019)一流110mハードル走選手のレースパターンと競技パフォーマンスの関係:レース局面に基づく検討. *体育学研究*,64(2):475-485.
- 志賀 充, 宮下 憲, 神崎将吾.(2003):一流ハードル選手における第1, 第4ハードルの踏切及び着地動作に関する研究-支持脚の膝及び足関節に着目して-. *陸上競技研究*,53(2):11-18.
- 清水由.(2008)〈小学校体育〉写真でわかる運動と指導のポイント 陸上. 大修館書店, pp.48-55
- Susanka P., Miskos G., Millerova V., Dostal E., Barac F. (1988) Time analysis of the sprint hurdle events at II world championships in athletics. *New studies in Athletics*, 3(2) :51-74.
- Tsiokanos A., Tsaopoulos E., Tsarouchas E., Giavroglou A. (2018) Race pattern of Men's 110-M Hurdles: Time analysis of Olympic Hurdle Performance. *Journal Biology of Exercise*. 14(2):15-36.
- 谷川聡.(2006)世界トップレベルからみた110mハードル競走の競技特性. *スプリント研究*,16:24-40.
- 谷川聡.(2007)世界トップレベルの男子110mおよび女子100mハードル競走の競技特性.

陸上競技学会誌 特集号: 46-54.

谷川聡, 柴山一仁. (2010) 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動作分析. *日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班 [編]*

*日本陸上競技連盟*: 86-95.

Walton, J.S. (1981) Close-range cine-photogrammetry: A generalized technique for quantifying gross human motion.

*Pennsylvania State University*.

渡辺輝也. (2014) ハードル走の学習指導におけるスモールステップ化を可能にする新しい教具の提案.

*体育科教育学研究* 30 (2): 37-50.

Winter DA. (2009) Biomechanics and Motor Control of Human Movement. 4<sup>th</sup> ed. Hoboken, N.J. *John Wiley & Sons*.

安井年文, 麻場一徳, 小木曾一之, 青山清英. (1996) 初心者のハードル走におけるタイム, 動作, 意識

の関係—女子大学生の場合. *スポーツ方法学研究*, 9(1): 29-38.

矢田恵大, 阿江通良, 谷川聡. (2012) 世界一流および学生短距離選手の回復脚におけるキネティクスの

相違. *陸上競技研究*, 3: 9-16.

山崎一彦. (2018) スムーズな走りを極める! 陸上競技ハードル. メイツ出版.

山田憲政. (1990) ハードル走の踏切における減速成分の分析. *日本バイオメカニクス学会編ジャンプ*

*研究*. メディカルプレス, 46-51.

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: 53-61.

雪下良治. (2020) 高校陸上基本&実践トレーニング; ハードル. 陸上競技社, 41-64.



## 謝辞

ようやく(?)長い学生生活が終了しました。大学に入学した時には、研究者を志して博士課程まで進学するとは夢にも思っていませんでした。東京学芸大学に学部生として入学し、そのまま修士課程に進学、そして博士課程途中で福岡大学への就職が決まって順風満帆と思った矢先に、コロナ禍ということで最終的には波瀾万丈な学生生活であったと感じる次第です。どちらかといえば、現場での活動の方が好きだった私ではありますが、今では研究活動を中心に楽しむことができている、博士課程へ進学してよかったと感じております。

博士論文執筆にあたり懇切丁寧な指導をしてくださった伊藤信之先生に心より感謝申し上げます。研究論文とは何かを教えていただき、研究者としての一歩を踏み出すことができました。また、現場でも活躍されている先生からは、現場での活動をしながら研究活動を継続する姿勢を学ばせていただきました。副査を担当いただきました泉真由子先生、松田恵司先生、佐藤善人先生にも心より感謝申し上げます。先生方の分野外の内容でありかつ拙い発表ではありましたが、鋭いご指摘のおかげで博士論文を仕上げることができました。また、審査会では小宮山伴与志先生、久保田浩史先生にも温かいご指導を賜り、より良い博士論文としてまとめることができました。

研究者として志す最初のきっかけは、宮下政司先生の栄養や身体活動に関するゼミであったと記憶しています。大学院の先輩の発表を聞いたり、先生の研究のお手伝いをしたりする中で、研究は楽しいということを知りました。その後、新海宏成先生のゼミへ移り、バイオメカニクス研究の道へ進みました。正直、数字を扱うことが苦手だった私にとってバイオメカニクスは、今でも苦を感じる時があるような分野ですが、それを越えた楽しさを味わうことができます。私の研究は、新海先生に指導していただいた賜物であると感じております。また、東京学芸大学内の先生方にも気にかけていただき、特

に森山進一郎先生，奥村基生先生には研究のお手伝いもさせていただきながら研究とは何かを教えてくださいました。福岡大学に就職するにあたり採用していただいた布目寛幸先生にも感謝申し上げます。それだけではなく，博士論文の一部となった英語論文は，布目先生のご助力なしには掲載されることはなかったと思います。先日，国際スポーツバイオメカニクス学会の会長になった布目先生のもとで研究活動ができているのは，私の今後の研究生活にとってかけがえのないものとあると確信しています。加えて，福岡大学助手室では木戸康平先生，川上翔太郎先生をはじめとした優秀な同僚の先生方に囲まれて非常に刺激をもらっています。これまでの活動の中で，様々な分野の先生方から刺激をいただき，研究活動を行うことができました。私は優れた研究者ではないと自負していますが，これからの研究活動では，私から刺激を与えられるような存在になりたいと思います。

これまで私の研究活動を支えてくださった全ての皆様に感謝申し上げます。

2022年9月吉日

岩崎 領