

2023 年度 修士学位論文

題目 :短距離走選手における前足部接地パターンに関する
探索的研究－分類方法, 使用傾向およびスプリントパフォー
－マンスとの関連性－

立命館大学大学院
スポーツ健康科学研究科 博士課程前期課程
スポーツ健康科学専攻 2 回生

学生証番号 : 6232220001-9

氏 名 : 新井 陽豊

2023 年度修士学位論文

短距離走選手における前足部接地パターンに

関する探索的研究

—分類方法，使用傾向およびスプリント
パフォーマンスとの関連性—

立命館大学大学院

スポーツ健康科学研究科

スポーツ健康科学専攻 博士課程前期課程 2 回生

6232220001-9

新井 陽豊

短距離走選手における前足部接地パターンに 関する探索的研究

—分類方法，使用傾向およびスプリント
パフォーマンスとの関連性—

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科 博士課程前期課程 2 回生 新井 陽豊

要旨

キーワード：前額面接地パターン，水平面接地パターン，矢状面接地パターン，足関節運動，足関節剛性，最大疾走局面

【目的】

本研究は，短距離走選手における前足部接地パターンの分類方法を考案し，その使用傾向およびスプリントパフォーマンスとの関連性を明らかにすることを目的とした．この目的を達成するため，研究課題 1 として，男子短距離走選手における初期接地時の前額面と水平面前足部接地パターンの使用傾向およびスプリントパフォーマンスとの関連性を検討した．また，研究課題 2 として，男子短距離走選手における立脚期の矢状面前足部接地パターンの使用傾向およびスプリントパフォーマンスとの関連性を検討した．

【方法・結果】

研究課題 1 において，陸上競技大会 100 m 走種目に出場した男子短距離走選手をゴール地点正面からハイスピードカメラを用いて映像撮影し，その中で最大疾走局面にあたる 60 m 到達時に前足部接地パターンを使用していた 417 名を解析対象者とした．初期接地時の前額面および水平面前足部接地パターンは，それぞれ非内がえし接地（NINV）と内がえし接地（INV）および非外転接地（NAB）と外転接地（AB）に分類した．また，これらの複合前足部接地パターンとして，NINV+NAB，NINV+AB，INV+NAB，INV+AB の 4 つに分類した．その結果，前額面前足部接地パターンは INV（86.3%）が NINV（13.7%）よりも多く，水平面前足部接地パターンは AB（81.8%）が NAB（18.2%）よりも多く使用されていた．また，複合前足部接地パターンは，INV+AB（73.6%）が最も多く使用さ

れていた。これらの使用傾向にも関わらず、前額面前足部接地パターンにおいて、風向風速の影響を補正した 100 m 走タイム（以下、補正 100 m 走タイムと称す）は、NINV 群が INV 群よりも有意に速いことが認められた ($P=0.002$)。さらに、複合前足部接地パターンにおいて、補正 100 m 走タイムは、NINV+NAB 群が INV+NAB 群と INV+AB 群よりも有意に速く（それぞれ $P=0.041$ と 0.008 ）、NINV+AB 群が INV+AB 群よりも有意に速いことが認められた ($P=0.044$)。

研究課題 2 において、陸上競技大会 100 m 走種目に出場した男子短距離走選手を 60 m 地点のレーン内側からハイスピードカメラを用いて映像撮影し、その中で最大疾走局面にあたる 60 m 到達時に前足部接地パターンを使用していた 248 名を解析対象者とした。立脚期の矢状面前足部接地パターンは、非踵部接触接地 (NHC) と踵部接触接地 (HC) に分類した。その結果、HC (83.3%) が NHC (16.7%) よりも多く使用されていた。この使用傾向にも関わらず、補正 100 m 走タイムは、NHC 群が HC 群よりも有意に速いことが認められた ($P=0.030$)。

【結論】

男子短距離走選手における前足部接地パターンは、前額面、水平面、矢状面の全ての解剖学的平面で分類することが可能であり、それぞれ INV, AB, HC が多く使用されていた。このような使用傾向に対して、前額面前足部接地パターンにおける NINV と矢状面前足部接地パターンにおける NHC の使用は、高いスプリントパフォーマンスに貢献する可能性が示唆された。したがって、短距離走選手における前足部接地パターンは、スプリントパフォーマンスに関連する重要なバイオメカニクスの因子であることが示唆された。

An exploratory study of forefoot strike patterns in sprinters

—classification methods, usage trends, and associations with sprint performance—

Graduate School of Sport and Health Science, Ritsumeikan University

6232220001-9 Haruto Arai

Abstract

Keywords: Frontal strike pattern, Horizontal strike pattern, Sagittal strike pattern, Ankle joint movement, Ankle joint stiffness, Maximum sprint phase

Objective

The purpose of this study was to develop the classification methods for identifying forefoot strike patterns in sprinters and to determine their usage trends and associations with sprint performance. To achieve this purpose, this study examined the usage trends of frontal and horizontal forefoot strike patterns at initial ground contact in male sprinters and their associations with 100-m sprint performance (*Study 1*). This study also examined the usage trends of sagittal foot strike patterns during stance phase in male sprinters and their associations with 100-m sprint performance (*Study 2*).

Methods and Results

In *Study 1*, frontal videos of sprinters who finished a 100-m sprint race were recorded from seven track and field events using a high-speed camera from the front of the finish line. Four hundred seventeen sprinters who used forefoot strike during the maximum sprint phase at 60 m were included in the analysis for this study. The frontal strike pattern was classified into the non-inversion (NINV) and inversion (INV) strikes. The horizontal strike pattern was also classified into the non-abduction (NAB) and

abduction (AB) strikes. In addition, the biplanar strike patterns were classified into four categories: NINV+NAB, NINV+AB, INV+NAB, and INV+AB. In this result, the frontal strike pattern was used more frequently in INV (86.3%) than in NINV (13.7%), and the horizontal strike pattern was used more frequently in AB (81.8%) than in NAB (18.2%). Moreover, among the four biplanar strike patterns, INV+AB (73.6%) was the most frequently used. Despite these usage trends, in the frontal strike pattern, the corrected 100-m sprint time, which corrected for the effect of wind speed, was significantly faster in NINV group than in INV group ($P=0.002$). Furthermore, the corrected 100-m sprint time was significantly faster in NINV+NAB group than in INV+NAB and INV+AB groups ($P=0.041$ and 0.008 , respectively) and in NINV+AB group than in INV+AB group ($P=0.044$).

In *Study 2*, sagittal videos of sprinters who finished a 100-m sprint race were recorded from a track and field events using a high-speed camera from the inside of the lane at 60 m. Two hundred forty-eight sprinters who used forefoot strike pattern during the maximum sprint phase at 60 m were included in the analysis for this study. The sagittal strike pattern was classified into the non-heel contact (NHC) and heel contact (HC) strikes. In this result, HC (83.3%) was used more frequently than NHC (16.7%). Despite this usage trend, the corrected 100-m sprint time was significantly faster in NHC group than in HC group ($P=0.030$).

Conclusion

The forefoot strike patterns in male sprinters could be classified in the three anatomical planes: frontal, horizontal, and sagittal, and INV, AB, and HC were frequently used, respectively. However, the use of frontal NINV and sagittal NHC may be beneficial in achieving better 100-m sprint performance. Therefore, the forefoot strike patterns may be an important biomechanical factor contributing to superior sprint performance in sprinters.

目次

第1章 緒言	1
1-1 研究背景.....	1
第2章 男子短距離走選手における前額面および水平面前足部接地パターン	5
2-1 目的.....	5
2-2 方法.....	5
2-3 結果.....	8
2-4 考察.....	11
2-5 小括.....	12
第3章 男子短距離走選手における矢状面前足部接地パターン	13
3-1 目的.....	13
3-2 方法.....	13
3-3 結果.....	15
3-4 考察.....	17
3-5 小括.....	18
第4章 総合討論	19
4-1 総合考察.....	19
4-2 研究限界と今後の研究展望	19
4-3 現場への応用	21
4-4 結論	21
第5章 参考文献	22
第6章 謝辞	25

第1章 緒言

1-1 研究背景

走動作は、片方の足が地面に接触しながら重心を移動させる立脚期と、両方の足が地面に接触せずに空中で移動する滞空期を交互に繰り返すことによって、重心を前進させる動作である (Farley et al., 1991). 高い走パフォーマンスを達成するためには、立脚期に大きな地面反力を獲得することが必要である. その上で、足部は、身体部位の中でも立脚期に地面と接触する唯一の部位であり、身体で生成された力を地面に伝える重要な役割を担っている. この観点に立脚し、2010年に Lieberman らが *Nature* 誌に発表した報告 (Lieberman et al., 2010) を契機に走動作中の接地パターンに関する研究が盛んに行われている.

図1に接地パターンの典型画像を示す. 接地パターンは、一般的に最初に地面に接地した足部の部位に基づいて識別し (Hasegawa et al., 2007), 後足部または踵部から地面に接地する後足部接地, 後足部と前足部が同時または足底全体で地面に接地する中足部接地, 前足部から地面に接地する前足部接地に分類される.



Figure 1. Typical images of foot strike patterns

図2に長距離走選手におけるマラソンレース中の接地パターンの使用傾向を調査した先行研究の結果を示す. これまで数多くの先行研究において、長距離走選手における接地パターンの使用傾向が調査されてきた (Hasegawa et al., 2007; Kasmer et al., 2013). 例えば、Hasegawa ら (2007) は、長距離走選手の多くがマラソンレース中に後足部接地パターンを使用していたが、そのレースの上位50名の36%が中足部接地パターンであったことを報告している. また、Kasmer ら (2013) も、マラソンレース中に長距離走選手の94%が後足部接地パターンを使用していたが、前足部接地パターン, 中足部接地パターン, 後足部接地パターンの順に撮影地点の通過順位が高かったことを報告している. したがって、先行研究の間で接地パターンと競技成績の関係に関する結果は必ずしも一様ではない

が、競技成績が高い選手は、後足部接地パターンよりも中足部接地パターンや前足部接地パターンを好適に使用していることが示唆される。

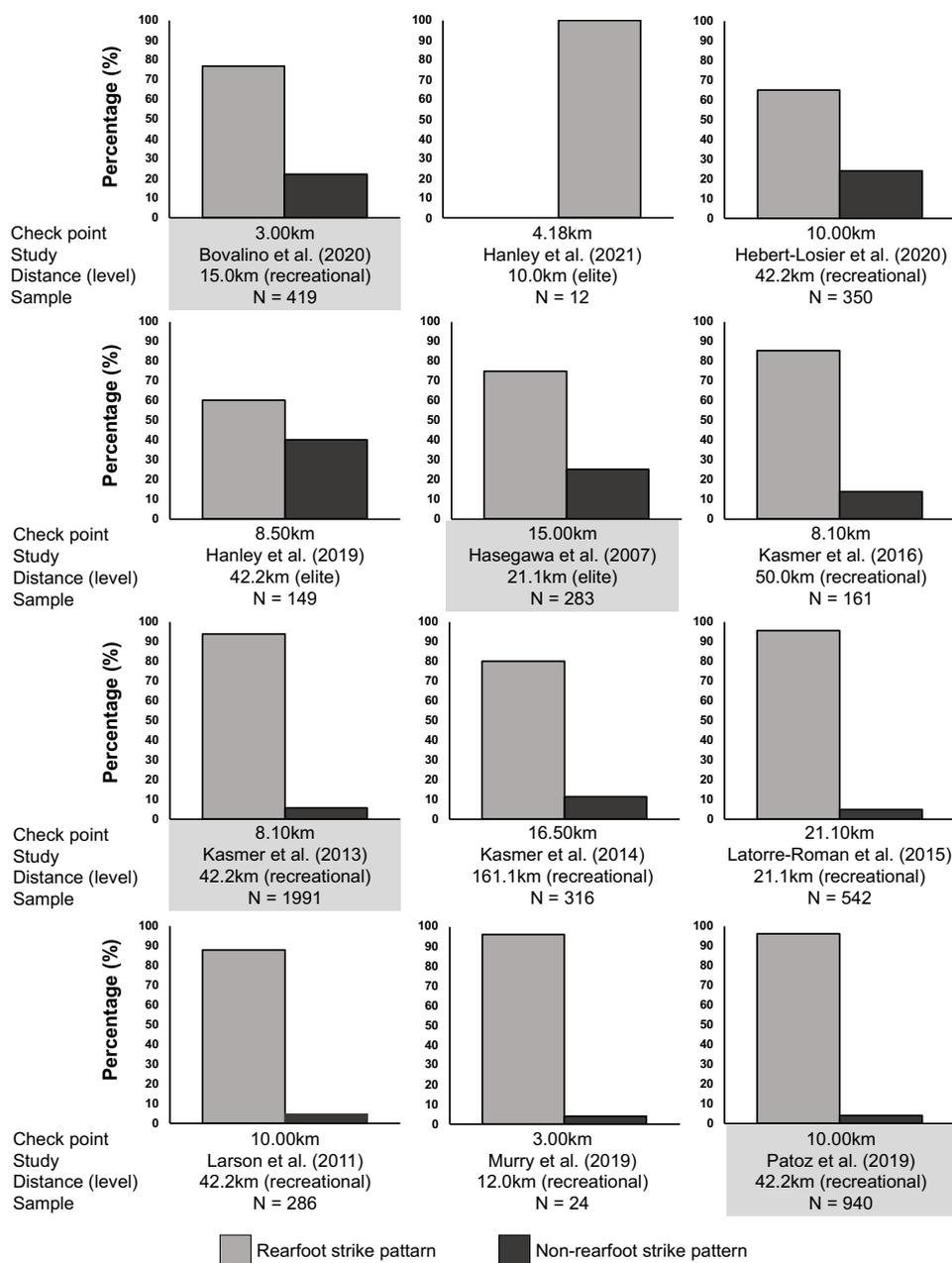


Figure 2. The usage trends of foot strike patterns in long-distance runners who were included in previous studies

This figure created based on a review by Bovalino & Kingsley (2021). The non-rearfoot strike pattern included both the forefoot and midfoot strikes. The previous studies highlighted in gray indicate that the official record of a competitive event was better for long-distance runners who used non-rearfoot strike pattern than for long-distance runners who used rearfoot strike pattern.

Hayes と Caplan (2012) は、マラソンのような長距離走よりも速い走速度が求められる 800 m 走や 1500 m 走を専門種目とする中距離走選手の接地パターンを調査した結果、その多くが前足部接地パターンまたは中足部接地パターンを使用しており、後足部接地パターンを使用する選手は僅かであったことを報告している。さらに、前足部接地パターンあるいは中足部接地パターンを使用する選手は、後足部接地パターンを使用する選手よりも接地時間が短く、競技成績が優れていることも報告している。また、Kerr ら (1983) は、同一の長距離走選手において、速い走速度では前足部接地パターンあるいは中足部接地パターンを使用し、遅い走速度では後足部接地パターンを使用することを報告している。したがって、速い走速度では、後足部接地パターンよりも前足部接地パターンあるいは中足部接地パターンを使用することが高い走パフォーマンスを達成するために有用であることが示唆される。

これまでに長距離走選手の接地パターンに関する研究は数多く行われてきたが、短距離走選手における接地パターンを分類した研究はない。この要因として、高いスプリントパフォーマンスを達成するためには、短い接地時間と大きな地面反力が必要とされる (Morin et al., 2012; Weyand et al., 2000)。このことから、短距離走選手における接地パターンは、これら両方の獲得に有用であると考えられる前足部接地パターンを大半の選手が使用しているとの理解のためであることが推察される (Di Michele & Merni, 2014; Hayes & Caplan, 2012)。一方、優れた競技成績を有する短距離走選手は、スプリント中の立脚期における小さな足関節角度変位が報告されている (伊藤ら., 1998)。また、スプリント中の立脚期における大きな足関節底屈トルクは、高いスプリントパフォーマンスに関連することが報告されている (Bezodis et al., 2008; Hutchinson, 2004)。したがって、高いスプリントパフォーマンスを有する短距離走選手は、スプリント中の立脚期における小さな足関節角度変位と大きな足関節底屈トルクによって、短い接地時間と大きな地面反力を獲得していることが推察される。以上のことから、長距離走選手のみならず短距離走選手においても、これらの動力学変数の獲得に関わることを想定される接地パターンを分類し、その使用傾向やスプリントパフォーマンスとの関連性を検討することは有益であると考えられる。

これまでの多くの先行研究では、対象選手が走行する走路の横方向にカメラを設置し、その取得した矢状面映像から接地パターンの分類を行ってきた (例えば、Hasegawa et al., 2007)。しかしながら、この分類方法は、矢状面で観察される動作のみに基づいていることから、他の運動面 (つまり、前額面や水平面) の動作は考慮されていない。実際、スプ

プリント中の足部や足関節は、矢状面だけではなく前額面や水平面の運動も伴う。このことから、短距離走選手における前足部接地にも複数のパターンが存在していることが想像に難くない。また、これまでの接地パターンの分類方法は、初期接地時のみに着目して行われてきたが、高いスプリントパフォーマンスを達成するためには立脚期の小さな足関節角度変位が重要であることを考慮した場合、初期接地時だけでなく立脚期全体の動作にも着目して接地パターンを分類することは有用であると考えられる。

以上のことから、本研究は、現場調査で取得した撮影映像を用いて、短距離走選手における前足部接地パターンの分類方法を考案し、その使用傾向およびスプリントパフォーマンスとの関連性を明らかにすることを目的とした。この目的を達成するため、研究課題 1 として、男子短距離走選手における初期接地時の前額面と水平面前足部接地パターンの使用傾向およびスプリントパフォーマンスとの関連性を検討した。また、研究課題 2 として、男子短距離走選手における立脚期の矢状面前足部接地パターンの使用傾向とスプリントパフォーマンスとの関連性を検討した。

第2章 男子短距離走選手における前額面と水平面前足部接地パターンの使用傾向 およびスプリントパフォーマンスの関係

2-1 目的

研究課題1は、男子短距離走選手における初期接地時の前額面と水平面前足部接地パターンの分類方法を考案し、その使用傾向およびスプリントパフォーマンスとの関連性を明らかにすることを目的とした。

2-2 方法

撮影対象者

2022年および2023年シーズンに開催された7つの日本陸上連盟公認陸上競技大会において、100m走種目に出場した高校生以上の男子短距離走選手を撮影対象者とした。映像撮影は、あらかじめ主催者に研究目的と方法を紙面および口頭で説明した上で、承認を得て行った。また、映像撮影は、競技大会の実施や運営に支障がないよう十分に配慮して行った。なお、本研究は、立命館大学における「人を対象とする研究倫理審査委員会」の承認（衣笠・人・2022-94）を得て実施した。

解析対象者の選定

解析対象者の選定に先立ち、ナンバーカードや接地時の映像が不明瞭な撮影対象者を除く703名を研究対象者とした。その中で複数の競技大会に出場した研究対象者は、最も短い補正100m走タイム（以下に詳細を示す）を記録した競技大会を解析対象とした。解析対象者の除外基準として、先行研究を参照し（Suga et al., 2020; Tottori et al., 2021）、補正100m走タイムが12.00秒以上の選手を解析対象から除外した。また、非前足部接地パターン（つまり、後足部接地パターンと中足部接地パターン）を使用した研究対象者も解析対象から除外した。

映像撮影の方法

映像撮影のビデオカメラは、競技場フィールド内およびメイスタンド上に複数台設置した。撮影対象者の映像は、高速度カメラ（Exilim EX-F1；CASIO社製：フレームレート600fps）をレーン前方正面および地面から18cmの高さに設置して撮影した。その際、高

速度カメラ 1 台につき、撮影対象者 1 名を撮影した。また、撮影対象者の特定と分類地点までの歩数を計測するため、ナンバーカードを含んだ全身は、メインスタンド上 50 m 付近からビデオカメラを用いて追従撮影を行った。

前額面および水平面前足部接地パターンの分類方法

前額面および水平面前足部接地パターンは、スタート後 1 歩目に使用した片足を解析対象足とした。分類地点は、最大疾走局面にあたる 60 m 地点とした。分類映像の抽出は、動画視聴ソフト (QuickTime Player : Apple 社製) を用いて行った。分類映像の抽出手順として、最初にメインスタンド上から撮影した映像を用いて、60 m 地点 (400 mH 走種目のハードル 10 台目位置) のレーンに示しているマークを通過する前の歩数を計測した。次にレーン前方正面から撮影した映像を用いて、地面に足部が最初に接触した瞬間までの映像をコマ送りで再生し、分類映像を抽出した。

前額面および水平面前足部接地パターンの分類は、1 名の検者が行った。分類手順として、はじめに、地面に最初に接地した足部の部位に基づいて、前足部接地と非前足部接地の 2 つに分類した。この際、前足部接地は、前足部が最初に地面に接地するパターンと定義した。これに対して、非前足部接地は、足底全体もしくは後足部から地面に接地するパターンと定義した。次に、前足部接地パターンを使用した選手を対象とし、レーン前方正面から撮影した抽出映像を用いて、地面に前足部が最初に接触した部位およびつま先の方角に基づいて、それぞれ前額面と水平面前足部接地パターンの分類を行った。

図 3 に前額面および水平面前足部接地パターンの典型画像を示す。前額面前足部接地パターンは、非内がえし接地 (NINV : Non-inversion strike) と内がえし接地 (INV : Inversion strike) に分類した。NINV は、前足部の内側と外側が地面にほぼ同時に接地するパターンと定義した。これに対して、INV は、前足部の外側から地面に接地するパターンと定義した。また、水平面前足部接地パターンは、非外転接地 (NAB : Non-abduction strike) と外転接地 (AB : Abduction strike) に分類した。NAB は、つま先の方角がカメラに対して正面を向き、踵部が映像から観察できない接地パターンと定義した。これに対して、AB は、つま先の方角がカメラに対して外方を向き、踵部が映像から観察できる接地パターンと定義した。さらに、これらの前額面および水平面前足部接地パターンを考慮し、複合前足部接地パターンとして、NINV+NAB, NINV+AB, INV+NAB, INV+AB の 4 つに分類した。なお、前額面および水平面前足部接地パターンの分類の信頼性を担保するため、

2名の研究者が無作為に盲検化された50名のサンプル映像を用いて評価した結果、先行研究（Cohen, 1960）の基準に従い、それぞれ中等度以上の信頼性（ $k = 0.856$ と 0.783 ）が確認された。

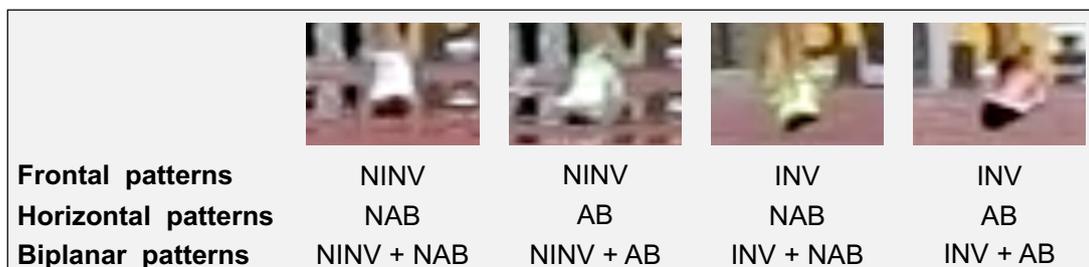


Figure 3. Typical pictures of frontal and horizontal forefoot strike patterns in male sprinters

Abbreviation; NINV: Non-inversion strike; INV: Inversion strike; NAB: Non-abduction strike; AB: Abduction strike.

補正 100 m 走タイムの算出方法

解析対象者の公式 100 m 走タイムは、映像撮影を実施した陸上競技大会の公式サイトから取得した。本研究では、風向風速が 100 m 走タイムに及ぼす影響を最小にするため、以下に示す Moinat ら（2018）の無風換算の式を用いて、補正 100 m 走タイムを算出した。

$$\text{Corrected 100-m sprint time} = P - 0.0449w + 0.009459Pw - 0.0042w^2$$

この際、 P は公式 100 m 走タイムおよび w は風向風速をそれぞれ示す。

統計解析

前額面および水平面前足部接地パターンの使用傾向は、使用者数および使用率（95%信頼区間）で示した。また、全ての群の補正 100 m 走タイムは、中央値と四分位範囲で示した。各群間の補正 100 m 走タイムの比較に先立ち、Kolmogorov-Smirnov 検定を用いて、データの正規性を確認した。その結果、正規分布が認められなかったことから、各群間の補正 100 m 走タイムの比較は、Mann-Whitney U 検定または Kruskal-Wallis 検定を用い

た。群間の比較の有意確率は、5%未満とした。なお、全ての統計解析は、統計解析ソフト（SPSS version 27; IBM 社製）を用いて行った。

2-3 結果

図4に解析対象者の選定フローを示す。研究対象者は、男子短距離走選手703名であった。その中の94名は、重複していたことから、最も短い補正100m走タイムを記録した競技大会の結果を採用した。また、研究対象者179名は、補正100m走タイムが12.00秒以上であったことから、解析対象から除外した。さらに、研究対象者13名は、非前足部接地パターンを使用していたことから、解析対象から除外した（範囲：10.80 – 11.91秒）。以上の選定フローから、全ての選定条件を満たした男子短距離走選手417名を解析対象者とした。なお、解析対象者の平均タイムは、 11.21 ± 0.34 秒（範囲：10.28 – 11.99秒）であった。また、解析対象者の補正100m走タイムの算出に用いた風向風速の平均は、 0.69 ± 1.92 m/sであった。

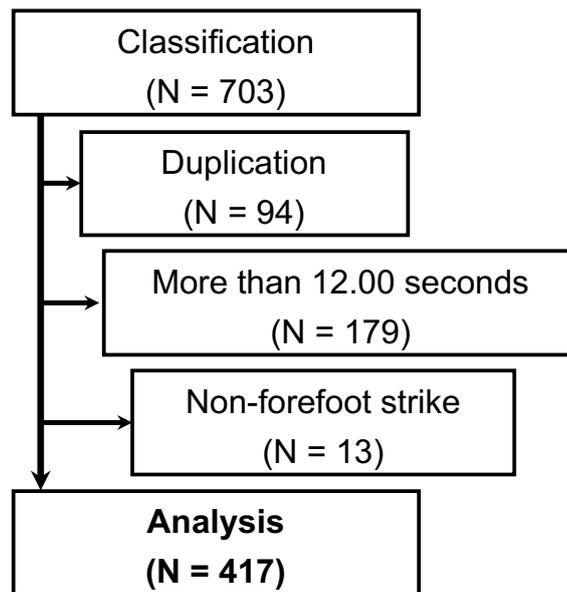


Figure 4. Selection flow for analysis in the *Study 1*

表1に前額面および水平面前足部接地パターンの使用傾向を示す。前額面前足部接地パターンは、INV (86.3%) が NINV (13.7%) よりも多く使用されていた。また、水平面前足部接地パターンは、AB (81.8%) が NAB (18.2%) よりも多く使用されていた。さらに、複合前足部接地パターンの中では、INV+AB (73.6%) が最も多く使用されていた。

Table 1. Number and percentages of frontal and horizontal forefoot strike patterns at maximum speed phase during 100-m sprint race in 417 male sprinters

	N	%	95%CI
Frontal strike patterns			
NINV	57	13.7	10.3 – 17.3
INV	360	86.3	82.7 – 89.7
Horizontal strike patterns			
NAB	76	18.2	14.9 – 22.1
AB	341	81.8	77.9 – 85.1
Biplanar strike patterns			
NINV+NAB	23	5.5	3.6 – 7.9
NINV+AB	34	8.2	5.8 – 10.8
INV+NAB	53	12.7	9.6 – 16.1
INV+AB	307	73.6	69.3 – 77.5

Abbreviation; NINV: Non-inversion strike; INV: Inversion strike; NAB: Non-abduction strike; AB: Abduction strike.

図 5 に前額面および水平面前足部接地パターンにおける各群の補正 100 m 走タイムの比較を示す。前額面前足部接地パターンにおいて、補正 100 m 走タイムは、NINV が INV よりも有意に短いことが認められた ($P = 0.002$)。また、水平面前足部接地パターンにおいて、両群間の補正 100 m 走タイムに統計学的に有意な差は認められなかったが、NAB が AB よりも短い傾向がみられた ($P = 0.075$)。さらに、複合前足部接地パターンにおいて、補正 100 m 走タイムは、NINV+NAB が INV+NAB と INV+AB よりも有意に短く (それぞれ $P = 0.040$ と 0.008)、NINV+AB が INV+AB よりも有意に短いことが認められた ($P = 0.044$)。

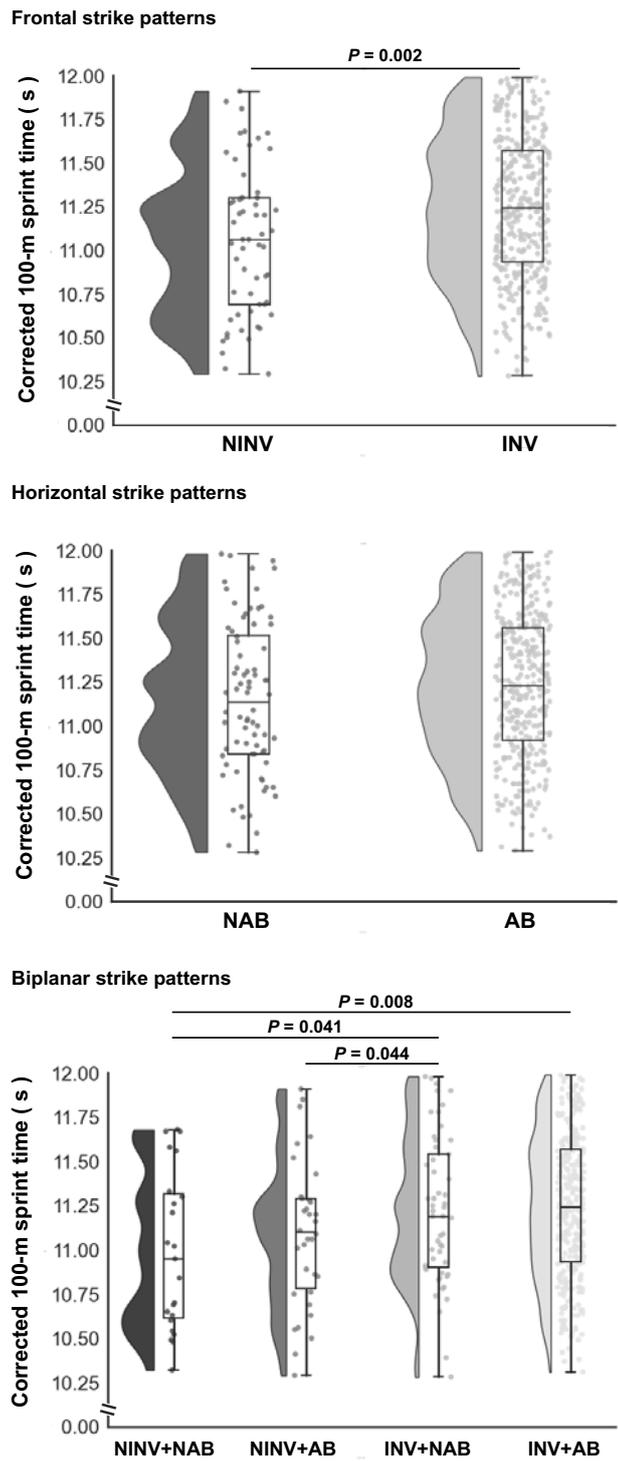


Figure 5. Comparisons of the corrected 100-m sprint time among frontal and horizontal forefoot strike pattern groups in male sprinters

Data are presented as median and interquartile range. Abbreviation. NINV: Non-inversion strikes; INV: Inversion strikes; NAB: Non-abduction strikes; AB : Abduction strikes.

2-4 考察

本研究の主要な結果として、男子短距離走選手における初期接地時の前額面および水平面前足部接地パターンは、その多くがそれぞれ INV および AB を使用していた。また、このような使用傾向にも関わらず、前額面前足部接地パターンとして NINV を使用する選手は、INV を使用する選手よりも 100 m 走タイムが短いことが認められた。

本研究は、前額面前足部接地パターンとして NINV よりも INV の使用傾向が高いことを明らかにした。Cavanagh & Lafortune ら (1980) は、非後足部接地パターンの接地直後の足圧中心が後足部接地パターンよりも足部の外側にあると報告している。また、Nunns ら (2013) は、非後足部接地パターンの接地直後の足部が後足部接地パターンよりも内がえしする傾向があると報告している。さらに、前足部接地パターンを使用する選手は、後足部接地パターンを使用する選手よりも立脚期における後足部の外がえし動作が大きいことが報告されている (Almeida et al., 2015)。このような後足部の外がえし動作は、初期接地時の足部の内がえし角度によって調節される可能性がある。Tsuji moto ら (2021) は、初期接地時の大きい内がえし角度が立脚期の大きい外がえしモーメントの生成をもたらし、その後の後足部の外がえし動作を大きくさせることを報告している。このことから、短距離走選手においても前足部接地パターンを使用する選手は、後足部接地パターンを使用する選手よりも初期接地時に大きな足関節内がえし角度を呈していることが推察される。したがって、前足部接地パターンを使用する短距離走選手の多くは、前足部接地パターン特有の動作に依存し、前足部の外側から接地する INV を使用していた可能性が考えられる。

本研究は、水平面前足部接地パターンとして NAB よりも AB の使用傾向が高いことを明らかにした。この結果は、遊脚期後半における近位下肢関節の力発揮に関連する筋の作用が影響している可能性がある。先行研究において、高いスプリントパフォーマンスを有する短距離走選手は、股関節伸展筋である大殿筋や大腿二頭筋長頭が顕著に発達していることが報告されている (Miller et al., 2021)。また、これらの筋は、スプリント中の遊脚期後半に強く活動する (Mero & Komi, 1987)。大殿筋や大腿二頭筋長頭は、股関節伸展作用だけでなく股関節外旋作用も有していることから、これらの高い筋活動は必然的に股関節外旋運動をもたらすことが推察される。したがって、前足部接地パターンを使用する短距離走選手の多くは、遊脚期後半にかけて生じる股関節外旋運動によって、つま先の方向が外方を向く AB を使用していた可能性が考えられる。

本研究は、前額面前足部接地パターンとして NINV を使用する選手の 100 m 走タイムが INV を使用する選手よりも短いことを明らかにした。足関節における前額面の動作は、足部が地面に接している時に衝撃吸収を行う重要な機能を持つ。しかしながら、短距離走選手の最大疾走局面では、衝撃吸収を最小限に抑えて高い剛性を獲得することにより、疾走速度を維持させることが必要である。したがって、NAB を使用する選手は、初期接地時の内がえし角度を小さくすることにより、立脚期における前額面の足部動作を制動し、疾走速度を維持することで、高いスプリントパフォーマンスを達成できた可能性が示唆される。

2-5 小括

本研究は、短距離走選手における初期接地時の前額面および水平面前足部接地パターンの分類方法を考案した。また、この分類方法を用いて、前足部接地パターンを使用する男子短距離走選手の多くは、前額面前足部接地パターンとして INV および水平面前足部接地パターンとして AB を使用することを明らかにした。さらに、このような使用傾向にも関わらず、前額面前足部接地パターンとして NINV を使用する選手は、INV を使用する選手よりも 100 m 走タイムが短いことを明らかにした。したがって、とりわけ初期接地時の前額面前足部接地パターンは、短距離走選手のスプリントパフォーマンスに関連する重要なバイオメカニクスの因子である可能性が示唆された。

第3章 男子短距離走選手における矢状面前足部接地パターンの使用傾向および スプリントパフォーマンスとの関係

3-1 目的

研究課題 2 は、男子短距離走選手における立脚期の矢状面前足部接地パターンの分類方法を考案し、その使用傾向およびスプリントパフォーマンスとの関連性を明らかにすることを目的とした。

3-2 方法

調査対象者

2023 年シーズンに開催された日本陸上連盟公認陸上競技大会において、100m 走種目に出場した高校生以上の男子短距離走選手を撮影対象者とした。映像撮影は、あらかじめ主催者に研究目的と方法を紙面および口頭で説明した上で、承認を得て行った。また、映像撮影は、競技大会の実施や運営に支障がないよう十分に配慮して行った。なお、本研究は、立命館大学における「人を対象とする研究倫理審査委員会」の承認（衣笠-人-2022-94）を得て実施した。

解析対象者の選定

解析対象者の選定に先立ち、ナンバーカードや接地時の映像が不明瞭な調査対象者を除く 284 名を研究対象者とした。解析対象者の除外基準として、先行研究を参照し (Suga et al., 2020; Tottori et al., 2021), 補正 100 m 走タイムが 12.00 秒以上の研究対象者を解析対象から除外した。また、後足部接地パターンと中足部接地パターンを使用した研究対象者も解析対象から除外した。

映像撮影の方法

映像撮影のビデオカメラは、競技場フィールド内およびメイスタンド上に複数台設置した。撮影対象者の映像は、高速度カメラ (Exilim EX-F1; CASIO 社製: フレームレート 600 fps) を使用し、最大疾走局面である 60 m 地点 (400 mH 走種目のハードル 10 台目位置) から対象選手に対して垂直になるようにフィールド内トラック内側および地面から 18 cm の高さに設置して撮影した。また、調査対象者を特定するため、ナンバーカードを

含んだ全身は、メインスタンド上 50 m 付近からビデオカメラを用いて追従撮影を行った。

矢状面前足部接地パターンの分類方法

矢状面前足部接地パターンの分類は、1 名の検者が動画視聴ソフト (QuickTime Player : Apple 社製) を用いて行った。分類映像の抽出は、フィールド内トラック内側から撮影した映像の 60 m 付近で最も鮮明であった片足を解析対象足とし、足部が地面に最初に接触した瞬間までの映像をコマ送りで再生して行った。

図 6 に矢状面前足部接地パターンの典型画像を示す。矢状面前足部接地パターンの分類手順として、はじめに Hasegawa ら (2007) の方法に従い、最初に地面に接地した足部の部位に基づいて、前足部接地パターン、中足部接地パターン、後足部接地パターンに分類した。前足部接地は、最初に前足部が地面に接地するパターンと定義した、中足部接地は、最初に足底全体で地面に接地するパターンと定義した。後足部接地は、最初に後足部が地面に接地するパターンと定義した。次に、前足部接地パターンを使用した選手を対象とし、前足部接地の程度に基づいて、非踵部接触接地 (NHC : Non-heel contact strike) と踵部接触接地 (HC : Heel contact strike) の 2 つに分類した。NHC は、立脚期に後足部が地面に接触せずに離地するパターンと定義した。HC は、立脚期に後足部が地面に接触した後に離地するパターンと定義した。なお、矢状面前足部接地パターンの分類の信頼性を担保するため、2 名の研究者が無作為に盲検化された 50 名のサンプル映像を用いて評価した結果、先行研究 (Cohen, 1960) の基準に従い、優れた信頼性 ($k = 0.902$) が確認された。



Figure 6. Typical pictures of sagittal forefoot strike patterns in male sprinters
Upper and lower pictures show non-heel contact and heel contact strikes, respectively.

補正 100m 走タイムの算出方法

解析対象者の公式 100 m 走タイムは、映像撮影を実施した陸上競技大会の公式サイトから取得した。本研究では、風向風速が 100 m 走タイムに及ぼす影響を最小にするため、以下に示す Moinat ら (2018) の無風換算の式を用いて、補正 100 m 走タイムを算出した。

$$\text{Corrected 100-m sprint time} = P - 0.0449w + 0.009459Pw - 0.0042w^2$$

この際、 P は公式 100 m 走タイムおよび w は風向風速をそれぞれ示す。

統計解析

矢状面前足部接地パターンの使用傾向は、使用者数および使用率 (95%信頼区間) で示した。また、NHC と HC 群の補正 100m 走タイムは、平均値と標準偏差で示した。2 群間の補正済 100 m 走タイムの比較に先立ち、Kolmogorov-Smirnov 検定を用いて、データの正規性を確認した。その結果、正規分布が認められたことから、2 群間の補正 100 m 走タイムの比較は、対応のない t 検定を用いた。2 群間の比較の有意確率は、5%未満とした。なお、統計解析は、統計解析ソフト (SPSS version 27 ; IBM 社製) を用いて実施した。

3-3 結果

図 7 に解析対象者の選定フローを示す。研究対象者は、男子短距離走選手 283 名であった。その中の研究対象者 25 名は、補正 100 m 走タイムが 12.00 秒以上であったことから、解析対象から除外した。また、研究対象者 10 名は、中足部接地パターンを使用していたことから、解析対象から除外した (範囲 : 10.86 – 11.57 秒)。以上の選定フローから、全ての選定条件を満たした男子短距離走選手 248 名を解析対象者とした。なお、解析対象者の平均タイムは、 11.23 ± 0.35 秒 (範囲 : 10.44 – 11.99 秒) であった。また、解析対象者の補正 100 m 走タイムの算出に用いた風向風速の平均は、 0.00 ± 1.29 m/s であった。

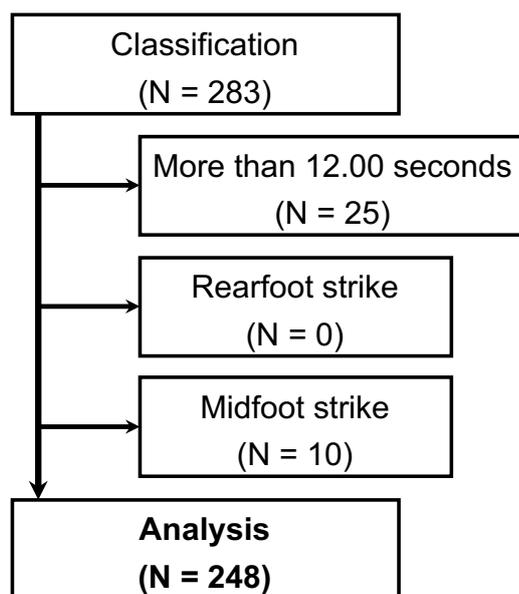


Figure 7. Selection flow of analysis in the *Study 2*

表 2 に矢状面前足部接地パターンの使用傾向を示す。NHC と HC の使用率は、それぞれ 31.9%と 68.1%であり、HC が NHC よりも多く使用されていた。

Table 2. Number and percentages of sagittal forefoot strike patterns at maximum speed phase during 100-m sprint race in 248 male sprinters

	N	%	95%CI
Non-heel contact strike	79	31.9	26.2 – 37.9
Heel contact strike	169	68.1	62.1 – 73.8

図 7 に矢状面前足部接地パターンにおける NHC と HC の補正 100 m 走タイムの比較を示す。補正 100 m 走タイムは、NHC が NC よりも有意に短いことが認められた ($P = 0.030$)。

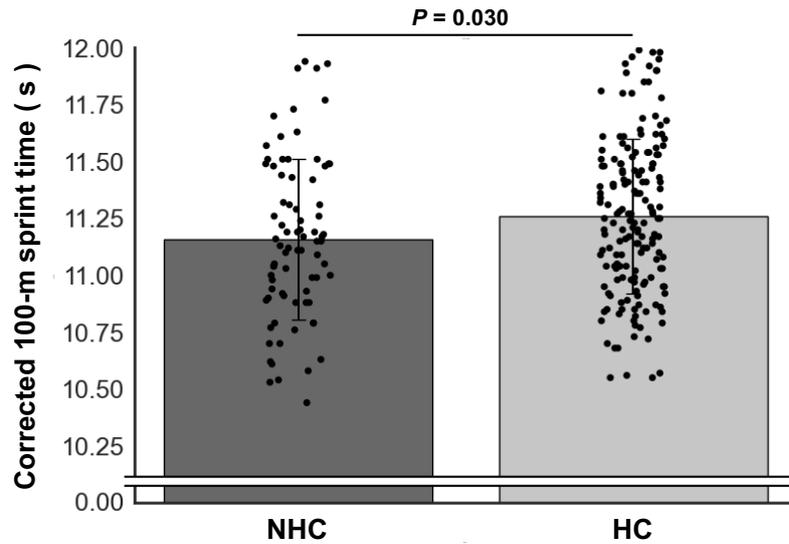


Figure 4: Comparisons of the corrected 100-m sprint time between sagittal forefoot strike pattern groups in male sprinters

Data are presented as means and standard deviations. Abbreviation; NHC: Non-heel contact strike; HC : Heel contact strike.

3-4 考察

本研究の主要な結果として、男子短距離走選手における立脚期の矢状面前足部接地パターンの使用傾向は、その多くが NHC よりも HC を使用していた。また、このような使用傾向にも関わらず、NHC を使用する選手は、HC を使用する選手よりも 100m 走タイムが短いことが認められた。

伊藤ら (1998) は、優れた競技成績を有する短距離走選手におけるスプリント中の立脚期の足関節角度変位が小さいことが報告されている。本研究の結果において、矢状面前足部接地パターンの使用傾向は、その多くが NHC よりも HC を使用していた。HC は、立脚期に踵部が地面に接触した後に離地することから、NHC よりも立脚期の足関節角度変位が大きい可能性がある。本研究は、補正 100m 走タイムが 12 秒未満かつ前足部接地を使用した短距離走選手を解析対象者とした。これに対して、伊藤ら (1998) の研究は、世界や日本トップレベルの短距離走選手を対象としていた。したがって、矢状面前足部接地パターンの使用傾向は、解析対象者の競技レベルに影響を受けることが推察される。このことから、本研究の結果では NHC よりも HC の使用傾向が高かった可能性が考えられる。

HC は、立脚期に踵部が地面に接触するため、足圧中心が NHC よりも後足部側 (つま

り、進行方向とは逆)に移動することが推察される。地面に対するモーメントアームは、足圧中心に大きく依存し、そのモーメントアームが立脚中期から後期にかけて長くなるほど、大きな地面反力を獲得できる可能性がある。NHCは、立脚期における足圧中心の後方移動が少ないことから、立脚中期から後期にかけてHCよりも長いモーメントアームを維持することができる。したがって、その結果として、NHCとHCの立脚前期の足関節底屈トルクが同程度であったとしても、NHCの立脚中期から後期にかけてHCよりも長いモーメントアームによって、大きな地面反力の獲得に貢献した可能性がある。また、NagaharaとZushi(2017)は、短距離走選手が高いスプリントパフォーマンスを達成するためには高い足関節剛性が必要であり、それは足関節底屈トルクと足関節背屈角度のそれぞれ増加と減少を介して獲得できることを報告している。NHCは、前足部から地面に接地した後、立脚期にわたって踵部が地面に接触しないことから、立脚期前半に踵部が地面に対して下降する移動を抑えることができる。このことから、NHCは、スプリント中の立脚期における足関節背屈動作を制動することで、HCよりも高い足関節剛性を獲得できた可能性がある。以上のことから、NHCを使用する短距離走選手は、HCを使用する短距離走選手よりもスプリントパフォーマンスに好適に作用する動力学変数の獲得に有利になることで、高いスプリントパフォーマンスを達成できる可能性が示唆される。

3-5 小括

本研究は、短距離走選手における立脚期の矢状面前足部接地パターンの分類方法を考案した。また、この分類方法を用いて、前足部接地パターンを使用する男子短距離走選手の多くは、矢状面前足部接地パターンとしてNHCよりもHCを使用することを明らかにした。さらに、このような使用傾向にも関わらず、NHCを使用する選手は、HCを使用する選手よりも100m走タイムが短いことを明らかにした。したがって、立脚期の矢状面前足部接地パターンは、短距離走選手のスプリントパフォーマンスに関連する重要なバイオメカニクスの因子である可能性が示唆された。

第4章 総合討論

4-1 総合考察

本研究は、短距離走選手における前足部接地パターンの分類方法を考案し、その使用傾向とスプリントパフォーマンスの関連性を明らかにした初めての研究である。本研究の成果として、現場調査研究で陸上競技大会の100 m 走種目に出場した男子短距離走選手の映像データを収集し、それを基に解剖学的平面における基準3平面の前足部接地パターンの分類した。その結果、研究課題1において、男子短距離走選手における前額面および水平面前足部接地パターンは、その多くがそれぞれ INV および AB を使用していることを明らかにした。さらに、このような使用傾向にも関わらず、前額面前足部接地パターンとして NINV を使用する選手は、INV を使用する選手よりも100 m 走タイムが短いことを明らかにした。研究課題2において、男子短距離走選手の多くが矢状面接地パターンとして NHC よりも HC を使用していたにも関わらず、HNC を使用する選手の100 m 走タイムは、HC を使用する選手よりも短いことを明らかにした。これらの一連の結果から、男子短距離走選手の多くが同様の接地パターンを使用していることが明らかとなった。その一方で、使用傾向の少ない NINV や NHC が高いスプリントパフォーマンスを達成するために好適に作用することも明らかとなった。NINV は、初期接地時の小さい足関節内がえし角度によって、立脚期の足関節外がえし運動を抑制し、高い足関節剛性を獲得できる可能性を示唆した。また、NHC は、立脚期前半の踵部の小さい鉛直変位量によって、立脚期の足関節背屈運動を抑制し、高い足関節剛性を獲得できる可能性を示唆した。以上のことから、NINV と NHC は、立脚期における冗長な足関節運動を抑制し、高い足関節剛性の獲得を介して地面反力を高めることに有効であり、これらの結果として高いスプリントパフォーマンスの達成に貢献する可能性が示唆される。

4-2 研究限界と今後の研究展望

本研究における短距離走選手の前足部接地パターンの分類は、スタート後1歩目あるいは分類地点で最も鮮明であった片足のみを行ったことは最初の研究限界である。Nagahara ら(2023)は、短距離走選手におけるスプリント中の動作は、左右非対称であることを報告している。したがって、今後の研究展開として、短距離走選手における前足

部接地パターンの非対称性の傾向とそれがスプリントパフォーマンスに及ぼす影響を検討することが必要である。

次に、本研究における短距離走選手の前足部接地パターンの分類は、最大疾走局面のみで行ったことは研究限界である。100 m 走は、一般的に加速局面、最大疾走局面、減速局面の3つの局面に分けられ、それぞれの局面によって重要な時空間変数や動力学変数が異なることが明らかにされている (Hunter et al., 2005; Morin et al., 2015)。したがって、今後の研究展開として、短距離走選手における前足部接地パターンを最大疾走局面だけでなく加速局面や減速局面でも分類し、それらの局面での使用傾向やスプリントパフォーマンスとの関連性を検討することが必要である。

最後に、本研究は、高校生以上の男子短距離走選手を対象とし、前足部接地パターンを分類した。しかしながら、優れた競技成績を有する短距離走選手は、スプリント中の立脚期における足関節角度変位が小さいことが報告されている (伊藤ら., 1998)。したがって、今後の研究展開として、高いスプリントパフォーマンスを有する短距離走選手のみを解析対象とした場合や、短距離走選手の中でもスプリントパフォーマンスが高い選手と低い選手に大別した場合の前足部接地パターンの使用傾向やスプリントパフォーマンスとの関連性を検討することが必要である。

今後の研究展望として、先行研究における現場調査から、長距離走選手の接地パターンに違いがあることが明らかにされたことを契機とし、その違いがランニングパフォーマンスに関連することを証明する様々なメカニズムが解明され、長距離走選手やその指導者、ひいてはフットウェア業界における新たなテクノロジーの開発に多大な影響を与えた。本研究の現場調査の結果から、短距離走選手においても前足部接地パターンに違いがあり、それがスプリントパフォーマンスに関連することが明らかとなった。しかしながら、前足部接地パターンの違いがバイオメカニクス分野で扱う時空間、運動学、運動力学的変数あるいはその隣接分野で扱う形態的および機能的因子に及ぼす影響は未解明である。したがって、短距離走選手における前足部接地パターンの違いがスプリントパフォーマンスに関連するメカニズムを解明できれば、その観点に立脚し、短距離走選手やその指導者、ひいてはフットウェア業界に大きな影響を与えられる可能性がある。

4-3 現場への応用

実際の競技現場において、足部や足関節を標的部位とし、接地時間の短縮や足関節剛性の増加を介して、スプリントパフォーマンスの向上を目的としたトレーニングや指導方法がいくつか存在する。しかしながら、本研究以前に短距離走選手が実際に 100 m 走中にごのような接地をしているのかは不確かな点が多かった。日本陸上競技連盟が出版している「中学校部活動における陸上競技の手引き」では、スプリント中の立脚期に求められる動作技術として、母趾で接地することが明記されている（日本陸上競技連盟, 2018）。それにも関わらず、本研究の結果では、母趾（つまり、前足部の内側）から接地する短距離走選手を確認することができなかった。したがって、実際の競技現場での短距離走選手に対する指導と実際に短距離走選手が使用している接地に大きな乖離が存在する。また、本研究は、特定の前足部接地パターンが高いスプリントパフォーマンスに貢献することを明らかにした。したがって、その前足部接地パターンへの変更は、スプリントパフォーマンスを向上させるために好適に作用すると考えられる。しかしながら、前足部接地パターンの変更は、それに伴う負荷変化に耐えられる軟部組織の形成が不十分な場合にスポーツ傷害の発生リスクを高める可能性が懸念される。したがって、意図する前足部接地パターンへ計画的に移行できるような足関節や足部周囲筋のみならずアキレス腱や足底腱膜の強化を目的としたトレーニングプログラム（例えば、プライオメトリックトレーニング）の構築が必要である。以上のことから、本研究の結果は、短距離走選手やその指導者がスプリントパフォーマンスに関連する動作特性を簡易的に観察できる新たな視点を提供するとともに、スプリントパフォーマンスを向上させるための新たなトレーニングやコンディショニングプログラムの創出に貢献する有益かつ実践的な知見となり得ることが期待される。

4-4 結論

本研究は、世界に先駆けて短距離走選手における前足部接地パターンの分類方法を考案し、男子短距離走選手が使用する前足部接地パターンに違いがあり、それがスプリントパフォーマンスに関連することを明らかにした。したがって、短距離走選手における前足部接地パターンは、スプリントパフォーマンスに関連する重要なバイオメカニクスの因子である可能性が示唆される。本研究の成果が短距離走選手やスプリントパフォーマンスに関する研究を飛躍的に発展させる一助となることを期待する。

第 5 章 参考文献

- Almeida, M. O., Davis, I. S., & Lopes, A. D. (2015). Biomechanical Differences of Foot-Strike Patterns During Running: A Systematic Review With Meta-analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 45(10), 738-755.
- Bezodis, I. N., Kerwin, D. G., & Salo, A. I. (2008). Lower-limb mechanics during the support phase of maximum-velocity sprint running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(4), 707-715.
- Bovalino, S. P., & Kingsley, M. I. C. (2021). Foot Strike Patterns During Overground Distance Running: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine - Open*, 7(1).
- Cavanagh, P. R., & LaFortune, M. A. (1980). Ground reaction forces in distance running. *Journal of Biomechanics*, 13(5), 397-406.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37-46.
- Di Michele, R., & Merni, F. (2014). The concurrent effects of strike pattern and ground-contact time on running economy. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(4), 414-418.
- Farley, C. T., Blickhan, R., Saito, J., & Taylor, C. R. (1991). Hopping frequency in humans: a test of how springs set stride frequency in bouncing gaits. *Journal of Applied Physiology*, 71(6), 2127-2132.
- Hamill, J., Gruber, A. H., & Derrick, T. R. (2014). Lower extremity joint stiffness characteristics during running with different footfall patterns. *European Journal of Sport Science*, 14(2), 130-136.
- Hasegawa, H., Yamauchi, T., & Kraemer, W. J. (2007). Foot strike patterns of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 888-893.
- Hayes, P., & Caplan, N. (2012). Foot strike patterns and ground contact times during high-calibre middle-distance races. *Journal of Sports Science*, 30(12), 1275-1283.
- Hunter, J. P., Marshall, R. N., & McNair, P. J. (2005). Relationships between ground

- reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *Journal of Applied Physiology*, 21(1), 31-43.
- Hutchinson, J. R. (2004). Biomechanical modeling and sensitivity analysis of bipedal running ability. I. Extant taxa. *Journal of Morphology*, 262(1), 421-440.
- 伊藤, 章., 市川, 博., 斉藤, 昌., 佐川, 和., 伊藤, 道., & 小林, 寛. (1998). 100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. *体育学研究*, 43(5-6), 260-273.
- Kasmer, M. E., Liu, X.-C., Roberts, K. G., & Valadao, J. M. (2013). Foot-Strike Pattern and Performance in a Marathon. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(3), 286-292.
- Laughton, C. A., Davis, I. M., & Hamill, J. (2003). Effect of strike pattern and orthotic intervention on tibial shock during running. *Journal of Applied Biomechanics*, 19(2), 153-168.
- Lieberman, D. E., Venkadesan, M., Werbel, W. A., Daoud, A. I., D'Andrea, S., Davis, I. S., Mang'eni, R. O., & Pitsiladis, Y. (2010). Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature*, 463(7280), 531-535.
- Mero, A., & Komi, P. V. (1987). Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 19(3), 266-274.
- Miller, R., Balshaw, T. G., Massey, G. J., Maeo, S., Lanza, M. B., Johnston, M., Allen, S. J., & Folland, J. P. (2021). The Muscle Morphology of Elite Sprint Running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(4), 804-815.
- Moinat, M., Fabius, O., & Emanuel, K. S. (2018). Data-driven quantification of the effect of wind on athletics performance. *European Journal of Sport Science*, 18(9), 1185-1190.
- Morin, J.-B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., & Lacour, J.-R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3921-3930.
- Morin, J. B., Slawinski, J., Dorel, S., de Villareal, E. S., Couturier, A., Samozino, P., Brugherelli, M., & Rabita, G. (2015). Acceleration capability in elite sprinters and ground impulse: Push more, brake less? *Journal of Biomechanics*, 48(12), 3149-

3154.

- Nagahara, R., & Gleadhill, S. (2023). Asymmetries of kinematics and kinetics in female and male sprinting. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 63(8), 891-898.
- Nagahara, R., & Zushi, K. (2017). Development of maximal speed sprinting performance with changes in vertical, leg and joint stiffness. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 57(12), 1572-1578.
- Nunns, M., House, C., Fallowfield, J., Allsopp, A., & Dixon, S. (2013). Biomechanical characteristics of barefoot footstrike modalities. *Journal of Biomechanics*, 46(15), 2603–2610.
- Suga, T., Terada, M., Tanaka, T., Miyake, Y., Ueno, H., Otsuka, M., Nagano, A., & Isaka, T. (2020). Calcaneus height is a key morphological factor of sprint performance in sprinters. *Scientific Reports*, 10(1), 15425.
- Tottori, N., Suga, T., Miyake, Y., Tsuchikane, R., Tanaka, T., Terada, M., Otsuka, M., Nagano, A., Fujita, S., & Isaka, T. (2021). Trunk and lower limb muscularity in sprinters: what are the specific muscles for superior sprint performance? *BMC Research Notes*, 14(1), 74.
- Tsujimoto, N., Nunome, H., Mizuno, T., Inoue, K., Matsui, K., Matsugi, R., & Ikegami, Y. (2021). Mechanical factors affecting the foot eversion moment during the stance phase of running in non-rearfoot strikers. *Sports Biomechanics*, 20(3), 290-303.
- Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology*, 89(5), 1991-1999.
- Williams, D. S., McClay, I. S., & Manal, K. T. (2000). Lower extremity mechanics in runners with a converted forefoot strike pattern. *Journal of Applied Biomechanics*, 16(2), 210-218.

第6章 謝辞

本研究を遂行するにあたり，充実した研究環境を提供いただき，終始暖かく見守っていただいた主査の伊坂忠夫教授，副査を引き受けてくださり，貴重なご意見をくださった長野明紀教授，上田憲嗣教授に深く感謝申し上げます．

なかなか研究が進まない中，優しい言葉で激励してくださり，図の作成方法や文章の書き方の基本に至るまで，本研究のほとんどすべての部分を指導いただきました菅唯志先生，研究の立案やデータの解釈でご指導いただきました寺田昌史先生，草川祐生先生に感謝申し上げます．また，ラボミーティングでご指摘やご助言をいただいた伊坂研究室の皆様，研究備品の購入や事務処理でお世話になりました秘書の奥村悦子様，切磋琢磨しあった同輩・先輩・後輩の方々，研究補助に参加して下さった皆様に感謝いたします．

最後になりましたが，研究の実施にあたり快く承諾してくださいました日本学生陸上競技連合，関西学生陸上競技連盟，大阪陸上競技協会，兵庫陸上競技協会に感謝の意を表します．