

令和 6 年 6 月 1 6 日現在

機関番号：1 2 1 0 2

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022 ~ 2023

課題番号：2 2 K 2 1 2 3 5

研究課題名（和文）進行方向の変更を要する曲走路をヒトが速く走るための動作の解明

研究課題名（英文）Investigate of sprinting motion to run faster with change of direction during curved path

研究代表者

広野 泰子（Hirono, Yasuko）

筑波大学・体育系・研究員

研究者番号：0 0 9 6 4 3 4 7

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、短距離競技者は曲走路疾走において進行方向を変更させるためにどのような動作を選択しているのか、なぜその動作を選択したのかを明らかにすることであった。短距離種目を専門とする男性陸上競技者15名を対象とした分析によって、右接地期には大きな股関節外転トルク発揮によって、左接地期には股関節外転トルク発揮を小さくして支持脚の走路内側への傾きを保持しつつ足関節底屈トルクによって求心地面反力を作用させていること、曲走路疾走動作は直走路で現れる競技者固有の疾走動作の影響を受けており、求心力積の左右比率には直走路疾走における左右接地足の側方距離が影響していることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた知見は、曲走路の疾走技術が直走路疾走の動作特性によって異なる可能性を示唆するものである。しかし本研究は、その根底にある直走路疾走における左右接地足の側方距離の要因を明らかにすることには至っていない。今後、直走路疾走における左右接地足の側方距離、すなわち直走路疾走における動作特性の要因を明らかにすることで、競技者の動作特性に応じた曲走路疾走の技術課題を示すことができると期待される。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study was to investigate the movement patterns to change of direction in sprinters during a curved path and the underlying cause behind these choices. An analysis of fifteen male sprinters revealed that during the right contact phase, runners generate a large external hip rotation torque, while during the left contact phase, they minimize external hip rotation torque to maintain the inward inclination of the support leg while applying plantar flexion torque to generate centripetal ground reaction force. The study also found that curved-path sprinting is influenced by the athlete's inherent sprinting pattern on a straight line, with the lateral distance between the feet during straight-line sprinting affecting the left-right ratio of inward impulse.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：曲線軌道 3次元動作分析 左右非対称性 ステップ幅 内傾 内転トルク 動作選択

1. 研究開始当初の背景

短距離種目のなかでレース中に到達する走スピードが最も高い種目 100m 走と 200m には、100m 走ではスタートからフィニッシュまでが直走路であるのに対して、200m 走はスタートから約 120m が曲走路であるという違いがある。進行方向を変更するために曲走路疾走では、接地期に進行方向に直交する方向の力積（以下、求心力積）を作用させなければならない。四輪車では前輪を鉛直軸周りに回転させて前輪の回転方向と進行方向をずらすことで求心力積を加えており、二輪車ではそれに加えて車輪を求心方向へ傾けている。これに対して、下肢に限ったとしても足・膝・股関節がそれぞれ 3 あるいは 2 つの回転軸をもつヒトには、求心力積を加えるために四輪車や二輪車よりも様々な動作の選択肢がある。どのような動作によって求心力積を作用させているのかを明らかにすることは、曲走路を速く走るための疾走技術を考えることの一助となる可能性がある。

求心力積を作用させるための動作は、股関節内外転あるいは足関節内外反によって外側へ押す動作と、走路内側へ傾ける、あるいは内側へ回転するによって股・膝・足関節伸展トルクによる力を求心方向に作用させることに大別される。曲走路疾走のためのトレーニング課題を検討するためには、求心力積を作用させるために左右脚がそれぞれどの動作を選択しているのかを明らかにすることが必要となる。

曲走路疾走における左右接地期の求心力積を比較した研究をみると、男性短距離競技者 10 名と女性短距離競技者 8 名（曲率半径、43.51m）を対象とした Ishimura and Sakurai (2016) の研究[1]では左接地期より右接地期の方が有意に大きいと報告されているのに対して、男性短距離競技者 7 名（曲率半径、37.72m）を対象とした Churchill et al. (2016) の研究[2]では左接地期の方が有意に大きいという異なる結果が示されている。これらの研究から、曲走路疾走における求心力積、すなわち進行方向の変更量の左右比率は競技者間で様々ではないと考えられる。では、この求心力積の左右比率の違いは何に由来するのであろうか。曲率が同程度の曲走路に沿って走った場合、接地期に必要な進行方向の変更の大きさはステップ長の大きさに依存することから、研究開始時に研究代表者は、曲走路をヒトが速く走るための動作はステップ長の大きさに応じて異なるという仮定を立てていた。しかし、本研究に先立って公認陸上競技会における 200m 走中の曲走路疾走動作を分析した結果、ステップ長や進行方向の変更角度には競技者間で異なる左右比率があることが示された。さらに、歩行における歩幅に相当する左右接地足の側方距離と進行方向の変更角度の左右比率が相関関係をもつ傾向が示された。左右接地足の側方距離が大きくなると、走路内側である左脚の走路内側への傾きが小さくなる、あるいは右脚の傾きが大きくなることで脚の走路内側への傾きが左右非対称となる。したがって、支持脚の姿勢が地面反力の方向を決定していると仮定した場合、支持脚の曲走路内側への傾きの程度によって求心力積の左右比率に影響すると考えられる。求心力積を作用させるための左右脚の動作とともに、求心力積の左右比率の動作および形態要因を明らかにすることは、“競技者の疾走動作の特性”に応じて曲走路における疾走技術やトレーニング課題の検討を助けることが期待される。

2. 研究の目的

本研究では、移動運動のエキスパートである短距離競技者の曲走路疾走を対象にして、進行方向を変更させるためにどのような動作を選択しているのか、そしてなぜその動作を選択したのかを明らかにすることを目的とした。また、本研究の目的を達成するために、以下の課題を設定した。

研究課題 1：左右接地期それぞれの求心力積の大きさと支持脚関節トルクの相関関係によって、求心力積を作用させるために左右接地期ではそれぞれどのような動作が選択されているのかを示す。

研究課題 2：求心力積の左右比率に影響する形態および接地期の動作特性を示す。

3. 研究の方法

(1) 疾走動作の計測実験

短距離種目を専門とする男性陸上競技者 15 名（体重、 67.3 ± 4.6 kg；200m 自己最高記録、 21.6 ± 0.6 s）とした。対象者には事前に実験の説明を行い、口頭および書面にて参加の同意を得た。なお、本研究は筑波大学体育系研究倫理委員会（課題番号、体 30-133 号）の承認を得て実施した。本実験は、図 1 に示すように屋内実験室に設けた仮設曲走路・直走路で行った。曲走路の曲率半径は 42m としており、これは 1 レーンの曲率半径が 37.898m の競技場における 3 レーンに相当する。30～60 分間のウォーミングアップの後、短距離用スパイクシューズを履いてスタンディングスタートからのおおよそ 50 m 最大下努力疾走とした。スタート後 40 m 付近に埋

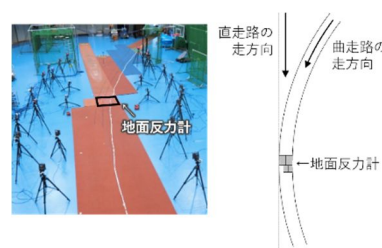


図 1 実験設定

設した 4 枚の地面反力計上に足部を接地した試技を成功試技として、対象者には曲走路・直走路において左右それぞれ 1 成功試技以上になるまで試技を行わせた。

赤外線カメラ 24 台を用いた光学式三次元動作分析装置 (VICON MX+, Vicon Motion Systems 社製) を用いて、身体分析点に貼付した赤外線反射マーカの三次元座標値を 250 Hz で収集した。また、地面反力計 4 枚 (9287B, 9287C, 9281A; Kistler 社製) を用いて、接地中の地面反力を 1000Hz で収集した。分析区間は、接地前 20 フレーム (0.08 s) から離地後 20 フレーム (0.08 s) とした。時系列データは、接地中を 100% で規格化した。

走路条件では、走路方向を進行方向とした。曲走路条件では、接地前 11 フレーム (0.04 s) から接地直前フレームの水平面における平均身体重心速度ベクトルを進行方向とし、鉛直軸と進行方向軸の外積を側方とした。

対応のある t 検定によって走路条件間および左右の違いを評価した。また、ピアソンの積率相関係数によってパラメータ間の関係性を評価した。いずれも有意水準は 5 % とした。

本研究では異なる試技中の左右接地期を分析したが、曲走路および直走路条件内の左右接地期間で走スピードに有意な差は示されなかった (曲走路疾走の左接地期 8.88 ± 0.31 m/s; 右接地期 8.86 ± 0.32 m/s; 直走路疾走の左接地期 9.02 ± 0.26 m/s; 右接地期 8.99 ± 0.27 m/s)。そのため、これ以降は同一走路条件において左右接地期間に示される違いはスピードの違いによるものではないと考えて議論を進める。

(2) 求心地面反力の大きさと支持脚関節トルクの関係

接地期の求心力積を接地時間で除した値 (平均求心力) と下腿関節トルクの相関関係において、左接地期では股関節外転トルクと足関節背屈トルクに有意な負の相関関係 ($r=-0.56$, $r=-0.61$) が示された (図 2)。一方、右接地期の股関節外転トルクに有意な正の相関関係 ($r=0.62$) が示された (図 2)。

これらの結果から、大きな平均求心力を作用させるために、左足接地相では走路内側へ傾ける、あるいは内側へ回転するによって股・膝・足関節伸展トルクによる地面反力を求心方向に作用させているのに対して、右接地期では股関節の外転トルクの曲走路外側へ押すような動作によって求心地面反力を作用させていることが明らかとなった (図 3)。

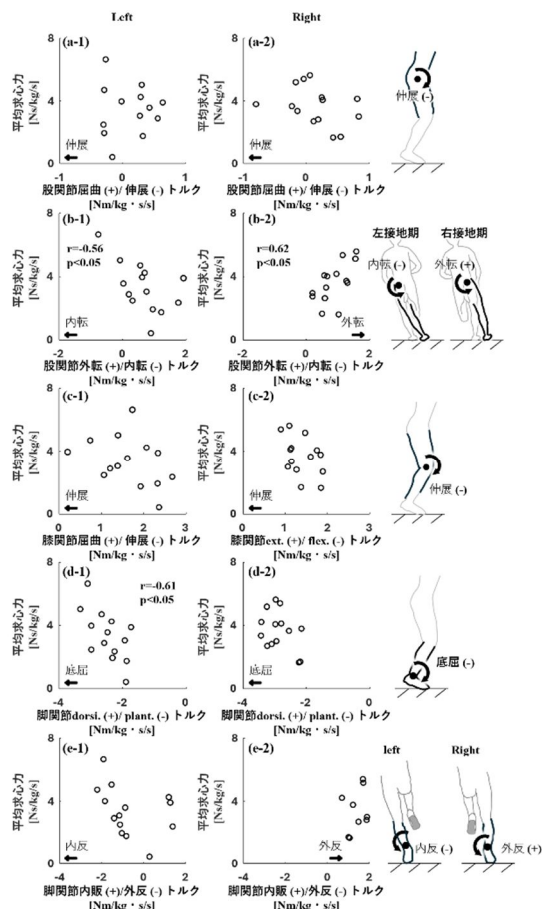


図 2 平均求心力と下肢関節トルクの関係

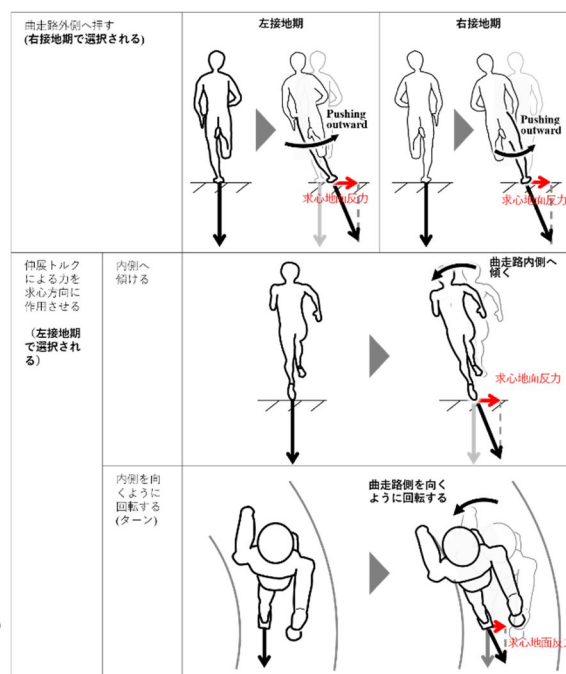


図 3 平均求心力を作用させるための動作

(3) 求心力積の左右比率と形態および接地期の動作変数の関係

求心力積の左右比率は、力積を接地時間で除した平均求心力の左右比率とは正の相関関係 ($r=0.99$) が示されたのに対して、接地時間の左右比率とは相関関係が示されなかった。また、右接地期の平均求心力と有意な相関関係 (左接地期, $r=-0.82$; 右接地期 $r=0.61$) が示された (図 4)。これらの結果から、求心力積の左右比率は接地時間ではなく求心地面反力の大きさの左右比率の影響を受けることが明らかとなった。曲走路疾走における左右接地足の側方距離は、直走路

疾走における左右接地足の側方距離と有意な正の相関関係 ($r=0.52$) が示された (図 5)。一方、曲走路疾走における求心力積の左右比率は、曲走路疾走における左右接地足の側方距離と正の相関関係 ($r=0.90$) が示されたのに対して、直走路疾走における左右接地足の側方距離とは有意な相関関係が示されなかった (図 4)。ここで、本研究の対象である男性陸上競技者 15 名のうち、対象者 08 は左接地期で求心地面反力を作用させている時間が 10% 接地期と他の競技者に比べて短かった。さらに、左接地期では曲走路外側へ進行方向を変更しており、右接地期でのみ曲走路側へ進行方向を変更していた。そこで、対象者 08 を除いたところ、直走路疾走における左右接地足の側方距離も求心力積の左右比率と有意な正の相関関係 ($r=0.63$) が示された (図 5)。これらの結果から、対象

者 08 のように曲走路疾走において左接地期で走路外側へ進行方向を変更する特殊な競技者を除けば、直走路疾走において左右接地足の側方距離が大きい競技者は曲走路疾走においても左右接地足の側方距離が大きく、右接地期に大きな求心力積を作用させていることが示唆された。

左右接地足の側方距離と骨盤幅と着地時の骨盤・支持脚姿勢の相関関係を分析した結果、曲走路と直走路疾走のいずれにおいても左右接地足の側方距離は支持脚内外傾角度に限って有意な正の相関関係 (曲走路左着地時, $r=0.85$; 右着地時, $r=0.67$; 直走路左着地時, $r=0.68$; 右着地時, $r=0.77$) が示された (図 5)。これらの結果から、直走路と曲走路疾走のいずれにおいても水平成分の地面反力は支持脚の姿勢に起因する可能性が示唆された。また、支持脚と骨盤の曲走路内側への傾きの相関関係の結果 (図 6) から、曲走路疾走の左接地時に支持脚が曲走路内側へ大きく傾いている競技者は、股関節の外転によって支持脚のみを傾けるのではなく、骨盤も曲走路内側へ傾いていることが示唆された。

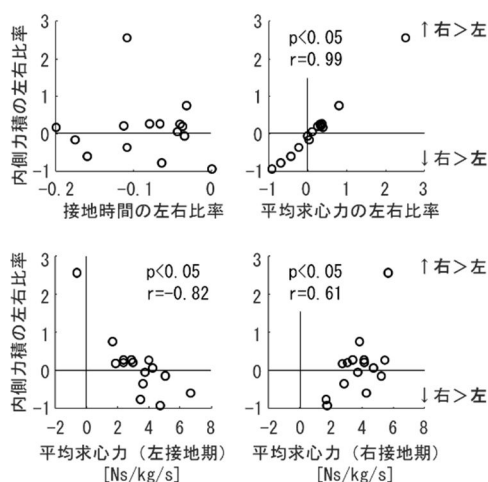


図 4 求心力積の左右比率と接地時間・平均求心力の左右比と平均求心力の関係

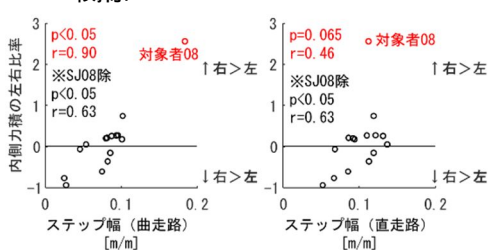


図 5 左右接地足の側方距離と求心力積の左右比率の関係

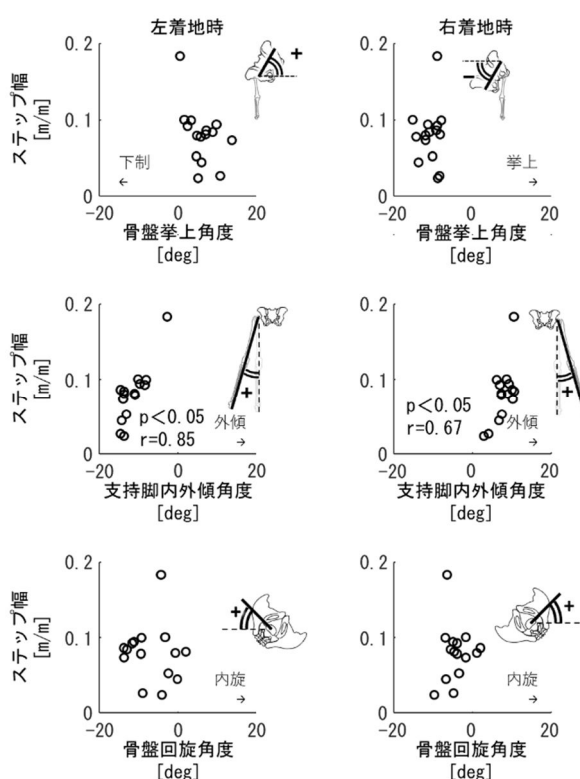


図 6 ステップ幅と着地時の骨盤・支持脚姿勢の関係

4. 研究成果

求心力積を作用させるための動作として、左右接地期は共通して着地時に支持脚を走路内側へ大きく傾けているが、求心力積を作用させることに寄与する関節トルクには左右非対称性があることが明らかとなった。具体的には、右接地期には大きな股関節外転トルク発揮によって、左接地期には股関節外転トルク発揮を小さくして支持脚の走路内側への傾きを保持しつつ足関節底屈トルクによって求心地面反力を作用させている可能性が示唆された (図 6)。また、曲走路疾走動作は直走路で現れる競技者固有の疾走動作の影響を受けており、求心力積の左右比率には直走路疾走における左右接地足の側方距離が影響していることが明らかとなった (図 6)。具体的には、右接地期に大きな求心力積を作用させている競技者は左右接地足の側方距離が大きいことが明らかとなった。左接地期の支持脚の曲走路内側への傾きが小さく、右着地時の支持

脚の曲走路内側への傾きが大きい姿勢によって左右接地足の側方距離が大きくなることから、左右接地足の側方距離が大きな競技者は、支持脚の曲走路内側への傾きが大きな右接地期に求心力積を作用させ易かったと考えられる。

本研究で得られた知見は、曲走路の疾走技術が直走路疾走の動作特性によって異なる可能性を示唆するものである。しかし本研究は、その根底にある直走路疾走における左右接地足の側方距離の要因を明らかにすることには至っていない。今後、直走路疾走における左右接地足の側方距離、すなわち直走路疾走における動作特性の要因を明らかにすることで、競技者の動作特性に応じた曲走路疾走の技術課題を示すことができると期待される。

本研究成果の一部は日本コーチング学会の助成を受けたものである。

引用文献

- [1] K. Ishimura, S. Sakurai(2016), Asymmetry in determinants of running speed during curved sprinting. J. Appl. Biomech. 32, 394-400.
- [2] S. M. Churchill, G. Trewartha, I. N. Bezodis, A. I. T. Salo(2016), Force production during maximal effort bend sprinting: Theory vs reality. Scand. J. Med. Sci. Sport. 26, 1171-1179.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1 . 著者名 広野泰子 , 藤井範久	4 . 巻 27
2 . 論文標題 200m走における曲走路疾走から直走路疾走への移行に要する距離に影響するキネマティクスパラメータ	5 . 発行年 2023年
3 . 雑誌名 バイオメカニクス研究	6 . 最初と最後の頁 9-23
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.32226/jjbse.2023_002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1 . 発表者名 広野泰子 , 藤井範久
2 . 発表標題 曲走路疾走動作における左右非対称性の個人差は何によって決定されるのか
3 . 学会等名 日本バイオメカニクス学会第28回大会
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Yasuko HIRONO and Norihisa FUJII
2 . 発表標題 Radial distance between foot and center of mass at touch down determines the asymmetry in generating centripetal impulse while running on a curved athletic track
3 . 学会等名 ISPGR World Congress 2023 (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Yasuko HIRONO and Norihisa FUJII
2 . 発表標題 Asymmetry in poeration to apply greater inward ground reaction force during curved sprinting on athletic track
3 . 学会等名 43rd International Society of Biomechanics in Sports Conference (国際学会)
4 . 発表年 2024年

1．発表者名 広野泰子，平山大作，藤井範久
2．発表標題 陸上競技場の曲走路疾走における求心力積の左右比率
3．学会等名 第28回バイオメカニズム・シンポジウム
4．発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6．研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------