

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 30 日現在

機関番号：30116
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2019～2021
課題番号：19K11524
研究課題名(和文) 多変量時系列パターン解析による競技パフォーマンス動作特性の識別と評価手法の開発

研究課題名(英文) Development of a method for identifying and evaluating athletic performance movement characteristics using multivariate time series pattern analysis

研究代表者
小林 秀紹 (Kobayashi, Hidetsugu)
札幌国際大学・スポーツ人間学部・教授

研究者番号：40280383
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的はスポーツ競技現場で取得されるキネマティクスデータに対して、時系列パターン解析を行い、競技パフォーマンス動作特性の識別およびその成就確率を算出する評価手法を開発することである。カーリング競技の動作分析におけるキネマティクスデータについて、動的時間ワーピング(DTW)を適用した。その結果、デリバリーフォームの一局面のみを切り取ることなく、DTW距離による比較を行うことで、被験者内及び被検者間のデリバリーフォームの個人特性を明らかにできることが確認された。本研究のアプローチは、日々のスポーツ現場におけるキネマティクスデータの効果的な利用法になると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で適用したDTWは、動作の時間的変化の状況を考慮し、個々の測定時間が異なっても、また選手間の動作の違いが顕著であっても変量間の関係と個人差を検出できる。本研究結果、被験者内及び被検者間のデリバリーフォームの個人特性を識別できることが確認された。これにより動作のキネマティクス解析において時間軸を断片した平均値の差の検定ではなく、一連の動作を包括的に評価することができ、個人の動作特性も識別できることから、コーチや選手の意思決定を支援する「個々人の修正すべき動きや部位の割合」に関する具体的な情報をフィードバックできることが可能になったと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop an evaluation method for kinematics data acquired in sports competitions by performing time-series pattern analysis to identify athletic performance movement characteristics and to calculate their probability of accomplishment. Dynamic time warping (DTW) was applied to kinematics data in the analysis of curling competition movements. The results confirmed that individual characteristics of delivery form within and between subjects can be revealed by comparison by DTW distance, without cutting out only one phase of the delivery form. The approach of this study will be an effective way to use kinematics data in daily sports practice.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：キネマティクス 動的時間伸縮法 DTW データドリブン 個人特性 フォーム 動作分析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

時系列データは経済指標、POS システムや天気状況など様々な領域で扱われている。機械学習による時系列データの解析手法は多岐にわたるが、時間情報を利用するため、傾向分析を中心に横断的では得られない「動的」な情報を獲得できる。スポーツ科学においてもキネマティクスデータを中心に時系列データを測定する機会が多い。

Dynamic Time Warping (DTW: 動的時間伸縮法) は、個人間および個人内の周期のずれを考慮し、異なる時系列データの類似度合いを測ることができる。具体的には 2 者間の時系列の各時点の値の距離を総当りで比較し、その距離が最も小さくなる組み合わせを見つけるものである。この手法は動作の時間的変化の状況を考慮し、個々の測定時間が異なっても、また選手間の動作の違いが顕著であっても変量間の関係と個人差を検出できる。これにより動作のキネマティクス解析において時間軸を分断した平均値の差の検定ではなく、一連の動作を包括的に評価することができ、個人の動作特性も識別できる。

多くの分野で時系列データに対する様々な解析が行われ、成果を挙げている一方で、意外なことにスポーツ科学においては、時系列データ、特にキネマティクスデータについて適切な時系列解析が行われることは少ない。多くのバイオメカニクス的研究では動作の違いを検出するために、時系列データを扱いながらいわゆる時系列解析を行わず、時間を分断した差の検定が主たる手法となっている。時間軸に沿って変化している現象は「動的」や「ダイナミクス」と言われる現象の時系列解析によって分析される。これまでの時系列解析は時系列データのある確率過程からの実現値とみなし、時間的変動や相互作用を的確に表現するモデルの構築を目的としている。特に自己回帰移動平均(ARMA)モデルは、線形性と短期記憶性の特徴を持ち、数学的な表現は簡潔で、理論的性質を明解に導出できる。すなわち、動作のパフォーマンスを適切に評価するためには、時間の要素を内在した時系列パターン解析の適用が望ましい。

2. 研究の目的

本研究の目的はスポーツ競技現場で取得されるキネマティクスデータに対して、時系列パターン解析を行い、競技パフォーマンス動作特性の識別およびその成就確率を算出する評価手法を開発することである。

連続性が重要である動きの評価において、今後時空間解析が必要になり、本研究はこれまで試みられなかった新たな分析方法である時空間解析、時系列パターン解析を競技パフォーマンスの評価に適用し、従来の経時解析(始まりから終わりまでの変化について局面ごとの解析)、自己相関分析(変移の解析)、スペクトル解析(振動や波形を数値化する周期の解析)では捉えきれなかった非周期的な運動について時間情報を含めた分析を試みる。

本研究は身体活動の多変量および運動技能水準の多系統データについて、機械学習時系列パターン解析を行い、競技パフォーマンスの個人特性を身体部位別、技能水準別に識別する。カーリングのトップアスリートを対象に慣性センサ(3軸のジャイロ、加速度、磁気)を装着し、デリバリー動作における各相対座標系の3次元加速度、角速度、角度、角加速度の時系列キネマティクスデータを得る。得られたデータについてカーリング動作における相対座標の重力加速度から姿勢情報の算出を行う。姿勢情報と重力加速度の非線形関係についてカルマンフィルタを用いて推定する。得られたデータより、身体活動の内部表現とパターン生成の分析を行う。

3. 研究の方法

本研究の対象者は、日本代表経験のある S 大学カーリング部門に所属する男子 3 名で、全員右利きであった。ハックにフォースプレートを装着及び被験者にモーションセンサを装着させた状態で、測定で投球するドロウウェイト(以下、DW)、ボードウェイト(以下、BW)、ノーマルウェイト(以下、NW)、トップウェイト(以下、TW)を各 1 投ずつ試投させた。測定時には DW、BW の順で交互に計 16 投を投球させた後、NW、TW の順で交互に計 16 投を投球させた。

デリバリーは、デリバリー予備動作前のハックに蹴り足をつき、しゃがみ込んだ時点とした。プルバック局面は、投球の予備動作であるストーン及び体を後方へ滑らせる動作を開始した時点を開始点とし、始点からプッシュ局面の開始時点までとした。プッシュ局面は、進行方向に対し体を前方へ滑らせる動作を開始した時点を開始点とし、ハックから足が離れた時点までとした。デリバリー終了は、ストーンがホグラインを超えた時点とした。

ハック踏力の測定には、フォースプレート(テック技販社 M3D-EL-FP-U)を用いた。デリバリーフォームの測定には、モーションセンサ(Noraxon 社 Myomotion)を用いた。専用ソフトウェア(MR3.10)によるデリバリーフォームの測定のために、仙椎上部、大腿外側部(左右)、下腿内側部(左右)、立方骨上部(左右)の 7 か所にモーションセンサを取り付けた。測定区間はプルバック局面からデリバリー終了までとした。デリバリー準備の直前に膝関節の屈曲-伸展動作によりフォースプレートを踏むことで、ハック踏力とデリバリーフォームの同期を取った。ストーン速度の

測定には、光電管(Brower Timing Systems 社 TCi System)を用いた。光電管は、バックラインとホグラインにそれぞれ 2 個、計 4 個設置した。バックラインとホグラインの間(8.23m)を通過した時間によってストーン速度を決定した。

動的時間伸縮法(Dynamic Time Warp 以下、DTW)とは、時系列データ同士の距離・類似度を測る際に用いる手法である。波形の距離を求める手法として、ユークリッド距離(Euclidean Distance)やマンハッタン距離(Manhattan distance)が知られているが、DTW は 2 つの時系列の各点の距離(誤差の絶対値)を総当たりで求め、全て求めた上で 2 つの時系列が最短となるパスを見つける分析手法である。同手法は、時系列同士の長さや周期が違ってても類似度を求めることができる特徴を持っている。本研究では、各ウェイトにおいて平均ストーン速度に最も近かった試行のデリバリーフォームと、fastest、slowest 時のデリバリーフォームを DTW 解析の対象とした。

4. 研究成果

カーリングデリバリーにおけるハック踏力とストーン速度の共変関係を明らかにするため、Pearson の積率相関係数を算出した。その結果、被験者 3 名共に、ハック踏力とストーン速度との間に非常に高い正の共変関係が確認された。カーリングの指導現場では、ウェイト調節の一要因としてハック踏力の調節が挙げられているが、本研究はそれを支持する結果となった。男子大学生カーリング選手におけるストーン速度とハック踏力の関係については、ストーン速度とハック面に対して鉛直成分の力との間に非常に高い有意な正の共変関係が確認された。

HY Ting ら(2014)の報告に基づき、異なる時点で測定したカーリングデリバリーフォームの類似度を確認するために、DTW を適用した。本報告ではそのうち、右膝関節屈曲角度の解析結果について記述する(図)。

右膝関節屈曲角度について、被験者 1 においては DW・TW の DTW 距離は他 2 条件と比較して高値を示した。このことは、DW 投球時と比較して TW 投球時のプルバック局面からプッシュ局面への移行が速いこと、右膝関節の爆発的な屈曲-伸展運動、ハックから足が離れた際の右膝関節屈曲角度が 0 度に近い角度のデリバリーフォームを行っていることが要因の 1 つとして考えられる。被験者 2 において、DW・NW、DW・TW は DTW 距離により同等の類似関係が確認された。さらに DW・BW より高値を示した。また、プルバック局面からプッシュ局面までの右膝関節屈曲角度は、DW を基準とすると、BW では小さく、NW、TW では大きいことが確認された。この結果は、BW 以下のような遅いウェイトを投球する際と NW 以上のような速いウェイトを投球する際とでデリバリーフォームを意図的に変化させる個人特性を意味していると考えられる。被験者 3 において、プルバック局面からプッシュ局面の右膝関節屈曲角度は、DW を基準とすると、BW では大きく、TW では大きいことが確認された。プッシュ局面の右膝関節屈曲角度は、DW を基準とすると、NW では小さいことが確認された。この結果は、ハック踏力によるウェイト調節が他被験者より顕著であったことを考慮すると、NW 以上の速いウェイトを投球する際は、プルバック局面やプッシュ局面の右膝関節屈曲角度を DW 時より小さくし、ハック面に対して垂直に近い角度でハックを蹴っていると推察される。

本研究は、カーリングデリバリーの各ウェイトにおけるハック踏力とデリバリーフォームの個人特性を明らかにし、ストーン速度に影響を与えている要因を明らかにするため、日本代表経験を有する 3 名の大学男子カーリング選手を被験者とし、フォースプレート、モーションセンサを用いてハック踏力、デリバリーフォームの測定を行った。その結果、各被験者の全ウェイトにおけるハック踏力とストーン速度との間に非常に高い有意な正の共変関係が認められた。また、デリバリーフォームの一局面的みを切り取ることなく、DTW 距離による比較を行うことで、被験者内及び被験者間のデリバリーフォームの個人特性を明らかにできることが確認された。

以上、スポーツの動作分析において、動作の一局面的を切り取ることなくフォーム全体のキネマティクス変量の解析によって、異なる条件における個人内変量間の比較からパフォーマンスの個人特性を分析できることが確認された。

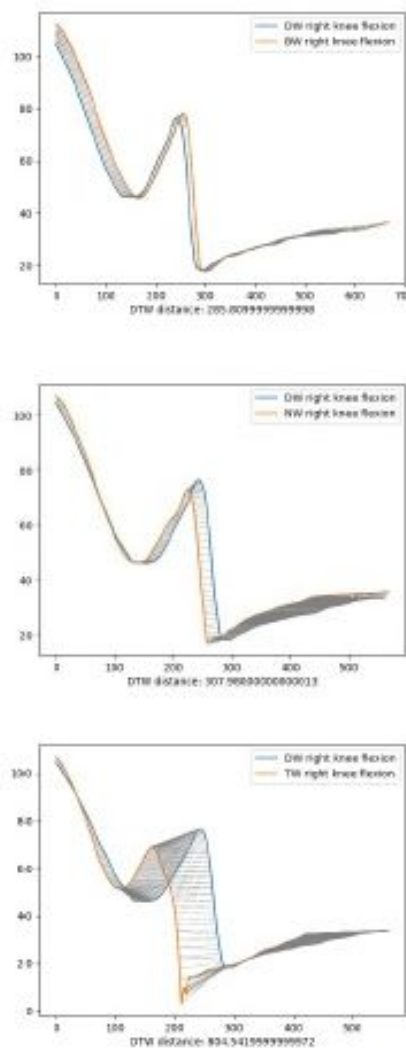


図 被験者 1 における右膝関節屈曲角度の DTW 距離

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小林秀紹
2. 発表標題 シングルケースにおけるキネマティクスデータの变量間類似度解析
3. 学会等名 日本コーチング学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林秀紹
2. 発表標題 DTW距離によるカーリングデリバリーフォームの時系列相似性分析
3. 学会等名 日本体育測定評価学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林秀紹, 鎌田 深
2. 発表標題 カーリングにおけるデリバリーハック踏力の個人特性
3. 学会等名 日本体育測定評価学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林秀紹
2. 発表標題 キネマティクス時系列データの共変関係に基づくカーリングデリバリーフォームの分析
3. 学会等名 日本体育・スポーツ・健康学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林秀紹
2. 発表標題 DTW距離によるカーリングデリバリー動作の時系列相似性分析
3. 学会等名 水上スポーツ研究
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林秀紹
2. 発表標題 動的時間伸縮法によるカーリングデリバリーフォームの個人特性解析
3. 学会等名 日本体育測定評価学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林秀紹
2. 発表標題 カーリングデリバリーフォームの選手間類似度
3. 学会等名 日本体育測定評価学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 スポーツ選手のためのリハビリテーション研究会	4. 発行年 2021年
2. 出版社 ブックハウス・エイチディ	5. 総ページ数 173
3. 書名 パフォーマンステストとは何であるのか	

〔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
---------	---------