

平成 30 年 6 月 29 日現在

機関番号：30116

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01599

研究課題名(和文) ジュニア競技者のための時空間解析によるサイバネティクス系体力評価システムの開発

研究課題名(英文) Development of cybernetics of physical performance evaluation system by spatio-temporal analysis for junior athletes

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は動作分析データによって得られる変量について、サイバネティクス系体力評価変量の検討を目的とした。慣性センサは3軸のジャイロ、加速度、磁気各センサで構成され、カーリング競技のデリバリーにおける各相対座標系の3次元加速度および角速度を測定した。ストーンの速度を運動パラメータから推定するためにニューラルネットワークを適用した結果、実測値に対する推定値は10%未満の誤差であった。デリバリー動作の運動パラメータのみからストーンの速度を推定できるということは、パフォーマンスの向上に直結する具体的な動きの修正点を客観的に抽出できることを意味し、効果的なフィードバックを可能にすると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to examine the cybernetics variables on the variables obtained by motion analysis data. The inertial sensor consists of triaxial gyroscope, acceleration sensor and magnetic sensor. The three-dimensional acceleration and angular velocity of each relative coordinate system in delivery of the curling were measured. As a result of applying the neural network to estimate the speed of the stone from the motion parameters, the estimated value for the measured value was less than 10% error. The system to estimate the speed of the stone from the motion parameters in the curling delivery movement means that it is possible to objectively point out specific movement correction points for improving performance. It was concluded that the motion parameter by the inertial sensors is to enable effective feedback.

研究分野：トレーニング科学

キーワード：サイバネティクス 運動パフォーマンス フィードバック スキル

## 1. 研究開始当初の背景

スポーツ競技のパフォーマンス評価において、測定変量の選択に関する妥当性問題は重要である。近年のジュニア競技者を対象としたタレント発掘事業など、発育発達期においては、調整系神経系の発達評価が重要と考えられている。しかし、一般的な体力テストにおける構成因子にはサイバネティックス系体力を測定する項目はなく、投動作における調整力が評価されるにとどまる。

発達傾向の評価は、宮丸(1980)の基本動作の発達パターンのように一般的運動パターンを示し、それとの合致によって判断することが多い。また、キネマティクスおよびキネティック的動作分析においては、経時的な動作局面ごとにパラメータを評価しており、巧みな動作遂行に重要な時間軸の概念が情報として損失している。エネルギー系の体力と異なり、サイバネティックス系の運動は、時間情報をその評価変量に組み込み、運動の効率化情報を評価することが重要である。

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。しかし、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。一方、急激な変化が生じたり、上下動が非対称などの非線形性を示すデータあるいは時点が大きく隔たった観測値間の相関係数が無視できないような長期記憶性を示すデータに対するモデルとしては適当ではない。すなわち、神経系サイバネティックス系の体力を評価するには、これまでの時系列解析ではなく、時間の要素を内在した時空間解析の適用が望ましい。

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、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を発育発達期の体力評価に適用し、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必要があると考えられる。

## 2. 研究の目的

ジュニア世代は神経系の発達が著しく、エネルギー系のみならずサイバネティックス系の体力評価も重要である。しかし、サイバネティックス系の体力評価は様々な運動パターンの存在もあり、量的な評価が十分行われていない。本研究は、ジュニア競技者のタレント発掘に資するサイバネティックス系

体力評価システムを開発するために、既存の体力テストの解析(高次および階層的因子分析)によるスキル関連因子を抽出し、動作分析に時空間解析を適用した新たなスキル評価変量との基準関連妥当性を検証するとともに、競技横断的な適性因子の存在の有無を検討する。動画分析および加速度センサーと角速度センサーによって得られた加速度と角速度データについて主成分分析により動作パターンの識別と抽出を行い、時空間解析を適用する。

ジュニア選手と日本代表クラス選手のデータにおいてその差異と関連を検討し、両者間で関連の高い変量を「巧み」な動作を評価しうるスキル評価変量と捉える。動作分析データに対する時空間解析によって得られたスキル評価変量(「正確さ」「素早さ」「持続性」との関連を明らかにし、新たなサイバネティックス系体力評価変量の作成ならびに同評価システムを構築する。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。スキルの構成要素における出力系、「正確さ」「素早さ」「持続性」の各理論因子モデルを検討する。カーリング日本トップレベルの選手を対象に動作の学習効率を分析し、狙った場所に対するストーンの成否確率(アウトカム)に直接関連する動作を抽出、表示するシステムを開発する。

本研究は慣性センサによってカーリングのデリバリーフォームを測定し、得られたキネマティクスデータにニューラルネットワークを適用し、ストーン速度を推定することを目的とした。サイバネティックス変量のみでパフォーマンスを推定することができれば、筋力や全身持久力などのエネルギー系の変量に依存せず、センサ情報から得られるスキルの客観的なフィードバック情報によって、効果的なパフォーマンスの向上を計画することが可能と考えられる。すなわち、経験や主観に依存したコーチによる情報のみならず、認知されない情報も加味したアウトカムに資する有効なフォームの改善点を指摘することが可能になると考えられる。

## 3. 研究の方法

日本代表経験を有する3名の女子カーリング選手(平均年齢26歳、平均身長164.7cm、平均体重60.0kg)を対象とした。

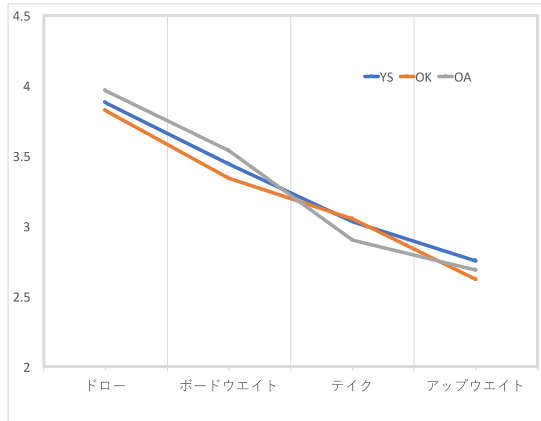
全身骨格モデルのために16個の慣性センサ(慣性センサ(Myomotion, Noraxon, USA)精度 static  $\pm 0.4^\circ$  dynamic  $\pm 1.2^\circ$  サンプリング周波数 100 Hz)を貼付、投球ごとに立位姿勢にてセンサのキャリブレーションを行った。慣性センサは3軸のジャイロ、加速度、磁気各センサで構成され、デリバリーにおける各相対座標系の3次元加速度および角速度を測定した。慣性センサを利用し、カーリング競技における相対座標の重力加速度から姿勢情報の算出を行った。姿勢情報と重力加速度

の非線形関係についてカルマンフィルタを用いて推定した。また、ストーン velocity は光電管で計測した。

3名の選手は通常のデリバリーを行った。4種類（ドロウ、ボードウエイト、テイク、アップウエイト）のウエイト（速度）についてそれぞれ8試行実施した。その際、バックラインとホグラインに光電管を設定し、その間（8.23m）の通過時間を測定した。デリバリー動作後に直前のフォームに対して「良し」「悪し」の主観的評価を求めた。4種類のストーン velocity についてそれぞれ4回ストーンを投げた。

#### 4. 研究成果

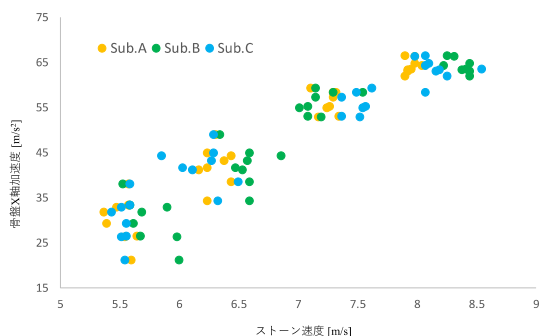
(1) 慣性センサを用いた身体運動のキネマティクス測定は、簡便かつ測定範囲の制限を受けない計測が可能である。慣性センサから得られる身体運動計測情報は、加速度や角速度であり、角速度の積分演算や重力加速度の変換からデータを得ることができる。急激な変化が生じたり、非線形性を示すデータ等身体運動における神経系サイバネティクス系を評価する場合は、時間の要素を含む解析の適用が望ましい。本研究は慣性センサから得られる情報について、カルマンフィルタによる状態空間モデルを適用し、競技におけるフォームの測定評価を行った。すなわち、慣性センサによるフィードバックに資する分析方法として可視化情報の提示を試みた。また、フォーム分析によって得られた変数データとフォームの質的評価データとの比較を行った。解析結果、4種類のウエイト間の時



間は3選手ともおよそ0.5秒の差によってパフォーマンスが遂行された。また、3名の選手の動作平均速度は0.1秒以内の範囲にあり、8試行における個人内変動はいずれのウエイトにおいても0.14秒以内の高い精度が認められた。慣性センサから得られたデータを空間に描画し、動画フォームよりも情報を圧縮した判断が容易なフィードバック分析を行うことができた。また、特徴的なフィードバックデータと質的評価によるフォーム評価は同様な観点からなされていることが確認された。

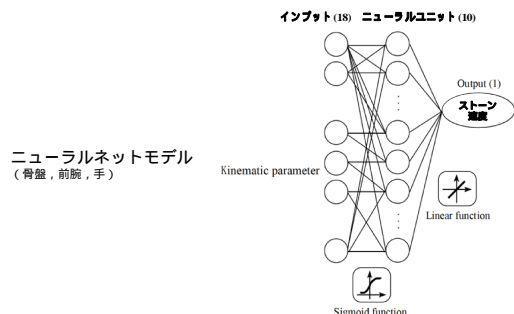
(2) 4種類のウエイト（投球動作速度）は

その程度が適切にコントロールされておりそれぞれ0.5秒の違いで速度が管理されていた。3名の選手個人間の速度差は0.1秒以内であり、選手間の差は何えなかった。また、個人内変動は小さいことから試行における精度は高く、スキルの高さが確認された。ドロウウエイト時の骨盤の加速度はテイクショット時に比べて違いが窺えた。ドロウウエイト時に「悪い」と評価したフォームにおけるハックフットの加速度はドロウウエイト



時に比べショット時に異なる方向への変化が認められた。主観的な感覚による質的評価において映像では確認できないフォームの違いが明らかとなった。

(3) 時系列のデリバリー動作変数データからストーン velocity を推定するためにニューラルネットワークを適用した。



本研究の結果、ニューラルネットワークによって時系列のカーリングデリバリー動作におけるストーン velocity を推定することが可能と考えられた。ストーン velocity を運動パラメータから推定するためにニューラルネットワークを適用した結果、実測値に対する推定値は10%未満の誤差であった。ニューラルネットワークは、カーリングデリバリー動作における運動パラメータからストーン velocity を推定する一つの有用な手段になると推測される。

以上のことから、慣性センサによるサイバネティクス変数によってパフォーマンスを推定することが概ね可能であり、エネルギー系の変数に依存せず、センサデータから効果的なスキルの客観的なフィードバック情報を抽出できる可能性が確認できた。このことは、経験や主観に基づくコーチによるフィードバック情報の精度を明らかにするとともに、認知されない情報をも加味したアウトカムに直結する具体的で有効なスキルの改善点を指摘することができると思われる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

### [雑誌論文](計3件)

小林 秀紹、競技選手・チームパフォーマンス向上に活かされる映像・データ分析、体育測定評価研究、査読無、16巻、2016、1

小林 秀紹、フィードバック情報としての映像・データ分析、体育測定評価研究、査読無、16巻、2016、2-6

小林 秀紹、トップアスリートの発掘・育成・強化への戦略的な取り組みとデータ分析、体育測定評価研究、査読無、17巻、2017、1

### [学会発表](計9件)

小林 秀紹、女子カーリング選手における最大スウィーピング後の心拍応答と体力の関係、日本体育学会、2015

DOI [https://doi.org/10.20693/jspehss.66.270\\_1](https://doi.org/10.20693/jspehss.66.270_1)

小林 秀紹、ファンクショナルムーブメントスクリーン(FMS)の項目特性分析、日本体育測定評価学会、2016

小林 秀紹、フィードバック情報としての映像・データ分析、日本体育学会、2016  
DOI [https://doi.org/10.20693/jspehss.67.58\\_2](https://doi.org/10.20693/jspehss.67.58_2)

小林 秀紹、チームパフォーマンスに活かされる映像・データ分析、日本体育学会、2016

DOI [https://doi.org/10.20693/jspehss.67.58\\_1](https://doi.org/10.20693/jspehss.67.58_1)

沼田 薫樹、小林 秀紹、バレーボールにおける攻撃の成否に関連する項目、日本体育学会、2017

DOI [https://doi.org/10.20693/jspehss.68.190\\_1](https://doi.org/10.20693/jspehss.68.190_1)

小林 秀紹、沼田 薫樹、慣性センサによるフォーム分析と質的評価、日本体育学会、2017

DOI [https://doi.org/10.20693/jspehss.68.205\\_3](https://doi.org/10.20693/jspehss.68.205_3)

小林 秀紹、慣性センサによる身体運動キネマティックスの時空間解析、日本体育測定評価学会、2017

小林 秀紹、リフティングエクササイズのスキルに対する主観的評価の計量化、日本スポーツパフォーマンス学会、2017

小林 秀紹、慣性センサによるカーリングデリバリー動作のキネマティックス解析、日本体育測定評価学会、2018

### [図書](計1件)

小林 秀紹 他、講談社スポーツ医科学書もっとなっとく 使えるスポーツサイエンス、2017、203

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

小林 秀紹 (KOBAYASHI, Hidetsugu)

札幌国際大学・スポーツ指導学科・教授

研究者番号：40280383