

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2022

課題番号：21K19697

研究課題名（和文）深層学習による動作技能の達成度評価方法の解明

研究課題名（英文）Criterion-referenced measurement and evaluation of movement skills using deep machine learning

研究代表者

西嶋 尚彦（Nishijima, Takahiko）

筑波大学・体育系・教授

研究者番号：50202239

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：深層学習による新しい運動能力の測定評価法の構築に挑戦した。身体運動の特徴量を深層学習することで、運動映像から動作技能として運動能力を測定し、達成度評価のアルゴリズムを解明することを目的とし、段階的な研究課題の解決に挑戦した。(1) スポーツの熟練者が視認している動作技術と達成基準を明らかにした。(2) 動作技術の達成度評価のための項目と評価基準を明らかにした。(3) 深層学習技術を適用して、姿勢推定アルゴリズムから出力される四肢体幹の計測点から、体軸を表示する体軸推定アルゴリズムを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

【学術的意義】スポーツ映像への深層学習アルゴリズム構築技術の適用は、早急な解決が必要不可欠な研究課題である。(1) 運動映像から運動能力を測定する深層学習アルゴリズムの構築、(2) 動作技能項目の達成度評価基準を分析することで、深層学習のためのKPIの解明、(3) スポーツの専門家が有する暗黙知である「匠の技」の見える化。【社会的意義】データテクノロジーと深層学習手法の適用により、スポーツ映像から動作技能を達成度評価するアルゴリズムの構築は、スポーツや体育でのICT教育の発展基盤となる。

研究成果の概要（英文）：We attempted to construct a new method for measuring and evaluating motor skills using deep learning. We attempted to solve a step-by-step research problem by deep learning physical movement features to measure motor skills as movement skills from movement videos and to elucidate an algorithm for evaluating the level of performance. (1) The movement techniques and performance criteria perceived by skilled athletes were identified. (2) Items and evaluation criteria for assessing the performance level of movement techniques were clarified. (3) Applying deep learning techniques, we revealed a body axis estimation algorithm that displays the body axis from the measurement points of the limb trunks output from the posture estimation algorithm.

研究分野：体育測定評価学，スポーツ統計学

キーワード：運動軸推定 運動姿勢推定 深層学習 動作技能 運動能力 達成度評価 項目反応理論

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

科研費挑戦的萌芽研究(H20-H21, H22-H23, H24-H25)では、コンピュータ適応型テスト技術と達成度評価のテスト理論(IRT)のデータ分析技術を適用し、運動および動作の習熟過程における運動能力の達成度評価のための項目特性分析とテスト特性分析を試みた。

続いて、科研費基盤研究 A(H23-H27)「子どもの運動成就特性に基づくコンピュータ適応型運動学習の解明」では、体育で使用する学習カード型の達成度評価基準とコンピュータアルゴリズムを構築した。この成果は、学習指導要領が指示する新しい学習指導の達成度評価に対応する。

加えて、科研費挑戦的萌芽研究(H27-H28)では、体育での運動学習に ICT を活用するための運動習熟特性の発見的分析を試みた。タブレット型 PC を用いて運動教材を動画でみる場合の運動習熟過程は、独自の因果関係や規則に従っている可能性が高いことが推察された。

次段階では、発展してきている深層学習アルゴリズム技術を適用した新しい運動能力測定法の開発への挑戦が必要であると考えられた。Python ライブラリーを用いた畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を適用して、スポーツや体育で実施された運動の映像から達成した動作技能項目を識別することにより、運動能力を測定する深層学習アルゴリズムを構築することに挑戦することが必要不可欠であると考えられた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、深層学習による新しい運動能力の測定評価法の構築に挑戦することであった。映像から身体運動の特徴量を深層学習することで、映像から動作技能として運動能力を測定し、達成度評価するアルゴリズムを解明することを目的とした。そのために、映像から運動動作の特徴量である動作技能 KPI(Key Performance Item)を抽出した。定性的分析を適用して、スポーツの熟練者が暗黙知として視認している「匠の技」である運動の動作技術と達成基準を抽出した。映像から身体運動を認識する深層学習技術を適用して、映像から達成した動作技術の特徴量を測定し、動作技能を達成度評価するアルゴリズムを構築し、精度を分析した。

そのために、段階的な研究課題の解決に挑戦した。(1) スポーツの熟練者が視認している運動の動作技術と達成基準を抽出し、見える化した。(2) 映像から動作技術の達成度を評価するための項目特性を分析した。(3) 畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を適用して、映像から達成した動作項目を識別するための動作技術のタグ付け(Tagging)と深層学習アルゴリズムを分析した。歩行や立幅跳などの低速運動動画の深層学習から開始し、スプリントやボール投げなどの高速運動動画の深層学習へ移行した。

3. 研究の方法

(1) 2021 年度

低速運動を対象として、低速動作の達成度評価項目と基準を構成し、動画から低速動作技能を達成度評価する深層学習アルゴリズムを構築し、精度を分析した。

対象は、専門的な男女大学生アスリートの低速運動動画、計 200 件以上であった。測定動作は、低速運動である歩行、ジョギング、垂直跳、立幅跳、ウェイトリフティング、などであった。

手順は、定性的分析を適用して、スポーツの熟練者が暗黙知として視認している低速運動の動作技術と達成基準を抽出し、深層学習のための動作技術と達成基準を構成した。定性的分析には、デルファイ法を伴う特性要因分析を適用した。

歩行、ジョギング、垂直跳、立幅跳などの運動能力を測定し、妥当性基準とした。

Python ライブラリーを用いた畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を適用して、低速運動映像から技能を達成度評価するための深層学習アルゴリズムを構築した。

運動局面ごとの分割画像による動作技能の達成データを測定した。

項目反応理論(IRT)の数理モデルを適用して、動作技能達成パターンデータから項目特性を分析し、動作技能の項目特性を構成した。

運動能力に対する動作技能項目の妥当性を分析した。

決定木分析を適用して、動作技能項目間の単純から複雑への連鎖関係を分析した。

データ分析は、決定木分析には CART アルゴリズムによる分類二進木分析を用いた。動作技能達成データに基本 2 値モデルの項目反応理論(IRT)分析を適用して、動作項目の一次元性と適合性、テスト項目特性曲線(ICC)、テスト項目特性値と能力推定値の不変性、テスト項目情報量(IIF)、テスト特性曲線(TCC)、テスト情報量(TIF)、テストの精度と信頼性、テストの併存妥当性を分析した。テスト項目特性値の推定にはベイズ推定法を用いた。

研究体制は、研究代表者は研究全体を統括し、データを収集した。

(2) 2022 年度

高速運動を対象として、高速動作の達成度評価項目と基準を構成し、動画から高速動作技能

を達成度評価する深層学習アルゴリズムを構築し、精度を分析した。

対象は、専門的な男女大学生アスリートの高速運動動画、計 200 件以上であった。測定動作は、高速運動：スプリント、ボール投げ、ボールキック、バウンディング、などであった。

手順は、前年度と同様であった。スプリント、ボール投げなどの運動能力を測定し、妥当性基準とした。

Python ライブラリーを用いた CNN を適用して、高速運動映像用の深層学習アルゴリズムを構築し、精度を分析した。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

本研究の主要な成果

深層学習技術の姿勢推定アルゴリズムを適用して、測定対象の運動局面画像を抽出し、姿勢推定アルゴリズムから出力される四肢体幹の計測点から、運動時の体軸を推定し、映像に体軸を表示する体軸推定アルゴリズムを明らかにし、PC プログラムを試作したことであった。このプロセスにおいて、スポーツの熟練者が視認している運動の動作技術と達成基準を抽出し、運動映像から動作技術の達成度を評価するための基準を推定した。

大学生の熟練者を対象として、跳躍能力を測定する立幅跳を複数の条件で実施し、複数のカメラアングルから撮影し、姿勢推定アルゴリズムを適用して、各フレームの複数の計測点を推定するアルゴリズムの誤差を検討した。これらのプロセスから、撮影された運動動画を分割した運動映像フレームから運動動作を推定するアルゴリズムを構築した。

加えて、スポーツの熟練者が暗黙知として視認している「匠の技」である運動の動作技術を推定した。立幅跳、走高跳、反復走、サッカーのシュートを対象として、運動映像に深層学習技術を用いて、姿勢推定アルゴリズムから出力される四肢体幹の計測点から体軸を表示する体軸推定アルゴリズムを構築した。

残された課題

コロナ蔓延防止対策の教育環境下のために少人数の大学生を対象とし、多人数の測定は遅延した。残された課題は、遅延した多変量解析に対応するための多人数の対象の測定を実施し、動作技能の達成度評価のための項目特性分析を実施することであった。そのために、運動局面ごとの分割画像による動作技能の達成データを測定する。項目反応理論 (IRT) の数理モデルを適用して、動作技能達成パターンデータから項目特性を分析し、動作技能の項目特性を構成する。運動能力に対する動作技能項目の妥当性を分析する。決定木分析を適用して、動作技能項目間の単純から複雑への連鎖関係を分析する。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

得られた成果の国内外における位置づけ

データテクノロジーの発展により、サッカーやベースボールの試合から計測されたトラッキングデータを中核とするビッグデータに深層学習手法を適用して、プレーを分類し、予測している。このようなスポーツアナリティクスはプロスポーツビジネスとして先行していることから、これらの研究成果は、毎年 MIT Sport Analytics Conference で発表される以外では、10 年前後の遅れでの論文公表となっているのが現状である。スポーツや体育での ICT 教育の発展を考慮すると、スポーツデータへの深層学習アルゴリズム構築技術の適用は、早急な解決が必要不可欠な研究課題であると考えられた。

得られた成果のインパクト

深層学習技術の適用による新しい運動能力の測定法の構築に挑戦した。得られた成果の学術的な斬新性によるインパクトがあると考えられる。まず、深層学習技術による姿勢推定アルゴリズムを適用して、映像から運動時の体軸を推定し、映像に表示する深層学習アルゴリズムを構築したことであった。もう一つは、定性的分析を適用して、スポーツの専門家が暗黙知として視認している運動動作技術と達成水準を抽出したことであった。

(3) 今後の展望

暗黙知や実践知を抽出する

本研究で使用した定性的分析が普及することにより、多くのスポーツと体育における多様な運動を対象として、スポーツの熟練者や専門家が暗黙知や実践知として有する「匠の技」である運動の動作技術と達成基準を抽出することが展開可能である。

深層学習アルゴリズムの多様性

多くのスポーツと体育における多様な運動を対象として、映像から身体動作を深層学習するための達成動作を識別し、動作技能による運動能力を測定するための多様な深層学習アルゴリズムの構築が展開可能である。次段階では、急速に発展している映像からの姿勢推定アルゴリズムを適用して、新しい運動能力測定技術を開発することが必要であると考えられた。

(4) 当初予期していない事象が起きたことにより得られた新たな知見

運動時の体軸の推定と見える化

深層学習を適用した姿勢推定データを使用して、運動時の体軸を推定し、運動映像に表示した。スポーツの専門家が暗黙知として視認している「匠の技」の一つである運動時の体軸を映像として見える化した。これにより、新しい運動能力の測定は、従来測定が困難であった運動の巧みさ（巧緻性）の測定を可能にし、測定値ではなく、映像で表示し、視覚的に評価することができる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
研究分担者	安藤 梢 (Ando Kozue) (30904007)	筑波大学・体育系・助教 (12102)	

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