

主 論 文 の 要 約

論文題目 アーティスティックスポーツの演技構造に
 基づく行動認識・評価手法
 (Action Recognition and Assessment
 Based on Choreographic Structures in
 Artistic Sports)

氏 名 松 山 仁

論 文 内 容 の 要 約

アーティスティックスポーツは年齢や性別を問わず、オリンピックから健康のためのエクササイズまで幅広い形態で、世界中で楽しまれている。スポーツにおける適切なフィードバックは学習効率を向上させるため、情報技術を用いたフィードバックの自動化による、トレーニング支援の研究開発が行われている。しかし、アーティスティックスポーツにおいては、演技の審美性を専門家が判断する特性上、フィードバックの自動化が困難である。

本博士論文では、アーティスティックスポーツの特性である演技構造を考慮することで、情報技術を活用したトレーニング支援の実現を目指す。第 1 章では、本論文の背景となるスポーツと情報技術の関係、および情報技術によるスポーツ分野の発展について述べた。また、当分野が抱える現状の課題について明らかにし、本論文の当分野における貢献を示した。

第 2 章では、本論文で扱うアーティスティックスポーツに関して概要を示し、さらに特徴的な二種類のスポーツについて詳しく解説した。アーティスティックスポーツの一番の特性は、審美性の存在である。対戦競技・記録競技といったスポーツは、少なくとも試合結果を判定する上で審美性が介在することはない（美しいフォーム、流れるような動き、といった試合結果自体に関係ない部分で芸術面に関連する評価を第三者が与えることは可能である）。一方で採点競技、特にアーティスティックスポーツにおける競技結果の判定には、審査員の主観による審美性が加味される。以上の特性を踏まえ、本論文ではアーティスティックスポーツの演技構成に着目し、その構成情報に基づく行動認識手法を提案する。さらに、審美性を含めた演技の評価手法についても開発を行う。

第3章では、社交ダンスフィガー認識に向け、行動認識手法に関する研究や一般行動における認識手法の開発・調査を行った。そして、開発手法を用いたダンスフィガー認識の基礎実験、そして従来型機械学習を用いたダンスフィガー認識手法を開発した。実験の手順は次のとおりである。はじめに演技構造を把握するための技の認識手法を開発した。本研究では社交ダンスにおける、加速度・角速度、骨格位置を用いたダンスフィガー分類手法を提案した。はじめに、ウェアラブルセンサの加速度・角速度センサの信号データ、および画像データから得た骨格位置座標の時間変化を入手し、基本的な統計量を用いた行動認識のベースライン手法によりダンスフィガーの分類を行った。その結果、分類精度として加速度・角速度を用いた分類でF値0.84、骨格位置を用いた分類で0.74、両者のハイブリッドで0.91の精度を得た。次にフットワークタイミングや腕の角度、高さといったダンスフィガーを特徴づける動作特性を分析したうえで、特徴量を設計し性能を評価した。結果として加速度・角速度および骨格位置それぞれでF値0.93、0.85、さらにハイブリッド手法で0.97の精度を得、いずれもベースライン手法を上回った。また社交ダンスが2人で踊るスポーツであることを考慮し、視覚情報の一部を欠損させた場合の精度も算出したところF値0.93の精度を確認し、マルチモーダルセンサを用いることで提案手法が遮蔽物に対して一定の頑健さを持つことを示した。

第4章では深層学習を用いた認識手法について述べた。本研究では、3次元骨格位置とウェアラブルセンサを用いた社交ダンスフィガーの分類手法を提案した。はじめに、3次元骨格位置を用いた結果を2次元骨格位置の場合と比較・評価した。次に、骨盤の中央座標の軌跡情報が予測精度をどのように向上させるかを検証した。その後、ウェアラブルセンサを装着する体の部位での精度比較を行った。さらに、ダンスフィガーの純粋な動きを抽出するために、時間方向の重みづけをおこなった。その結果、提案手法では93%の精度を達成し、ベースライン手法(84.7%)を大きく上回り、経験者の精度(93.6%)に近い精度を得ることができた。3章、4章で開発した従来型機械学習、深層学習手法について比較すると、前者は比較的高精度なダンスフィガーの識別を可能にした一方で、ドメインの動作理論等に関する知識を必要とする側面が存在する。そのため、特徴量設計者が対象となるドメインに一定の知識を有することが求められる。ただし、ドメインの動作特性を表現する適切な特徴量設計を行うことで、高精度な認識を可能にするだけでなく、決定木ベースのランダムフォレストを活用することで、生成したモデルを解釈可能にすることも可能である。これは、特にダンスの構成要素を自動で判定する際に、機械がどの項目に注目して判定を行ったのか説明性を求められたり、その技らしさを表現するためにどの項目に注意する必要があるかを教示したりする際に有用だと考えられる。一方で深層学習を活用した認識手法では、前者と比較すると精度が若干劣ったものの、90%を超える認識精度を記録することができた。加えて、構成要素の連続性や動作影響の考慮といった、アーティスティックスポーツ全般に適用可能な動作特性に基づいたネットワーク設計を行っている。そのため、本論文にて開発した従来型機械学習による手法と比較して、より多くのスポーツへの

拡張可能性が期待できる。また、Grad-CAMなどの説明可能なAI技術を活用することで、決定木ベースの特徴量重要度とは異なるヒートマップを用いた視覚的な方法で、ダンスフィガーの判定に用いられた特徴の可視化を行うことも可能である。

第5章では、フィギュアスケートを対象とした演技の採点予測手法の開発を行なった。本章では、アーティスティックスポーツにおける演技の評価手法の提案をおこなった。本研究は演技構造に基づく演技の自動評価手法を開発するものである。本研究ではフィギュアスケートの演技データと評価結果を収集し、演技における各技の登場時刻のラベリングを行なった。次に深層学習を用いて動画特徴量を抽出した。動画特徴量を入力に、深層学習による演技内の技の自動認識を行い、各技の技術点の予測、また演技全体の芸術点の予測を行なった。結果、開発した手法はSpearmanの順位相関係数で0.815の精度となり、既存手法を20%程度上回った。本研究は、フィギュアスケートにおける採点予測精度の向上に貢献したことに加え、難度点と総合点の関係といったフィギュアスケートの採点におけるデータ特性を明らかにし、さらに既存の研究では実現されていなかった演技構造そのものの予測・可視化を可能とした。

最後に、第6章で前章までの結果を踏まえ、アーティスティックスポーツと行動情報処理技術の融合による将来的な分野の発展について論じた。また、同章で本論文全体をまとめた。本論文では、アーティスティックスポーツの演技を構成する技の認識手法、及び演技の評価手法を提案した。これらの技術をトレーニング支援につなげるには、さらなる技術開発や検討が必要である。トレーニング支援に向けた要件は大きく、技の認識手法と評価手法を接続する上での内容と、アドバイス生成を行うための内容に分けられる。技の認識・評価の接続性に関して、本論文では技の認識においては社交ダンス、演技評価ではフィギュアスケートを対象とした。これは、前者は演技構造が明確で技の認識に必要なラベル情報の付与が行いやすかったこと、後者は演技データとそれに対応した採点情報が入手可能だったことが大きな理由であった。これらのスポーツを対象とした技の認識、演技評価手法はトレーニング支援に必要な機能である。一方で、実際にトレーニング支援を実現するためにはそれぞれの機能が適切に接続される必要がある。これを実現するためには、開発した技の認識手法、パフォーマンスの評価手法、そしてデータそれぞれの拡張が必要である。アドバイス生成に関して、本論文で目指したアーティスティックスポーツのトレーニング支援には、演技を構成する技の個別認識と演技の個別・全体評価に加え、アドバイスの生成が必要となる。アドバイスに必要な情報としては、技ごとの評価を向上させる練習方法と演技全体の評価を向上させる練習方法のそれぞれを提供する必要がある。これらを実現するためには開発した演技評価手法に説明可能性を加える必要がある。このように、演技を技ごとに分解し、個別・全体を評価、そしてアドバイスをフィードバックすることでトレーニング支援を実現し、初級・中級者をはじめとしたアーティスティックスポーツ学習者の支援や競技における採点規則のより具体的な解釈など、本論文の提案によりアーティスティックスポーツにおける審美性の理解・説明へつながることが期待される。