



Title: Analysis, Evaluation, and Prediction of Machine Learning-Based Animal Behavior Imitation
(機械学習を用いた動物行動模倣の分析・評価・予測)

Authors: Bo Wu, Yu Qi, Siyu Xiong
(武 博(東京工科大 コンピューターサイエンス学部 講師) 齊 玉(東京工科大 大学院生)
熊 思瑜(東京工科大 大学院生))

Journal: Electronics

掲載年月：2025 年 7 月

研究概要：本研究は、演技教育で用いられる動物行動模倣に対して、姿勢推定データと機械学習を用いた客観的・再現性のある評価手法を構築することを目的とした。MediaPipe により抽出した 3D 姿勢データを基盤に、角度誤差・姿勢差分・動作リズムなどの特徴量を設計し、教師の採点構造をモデル化する枠組み ML-PSDAEF を提案した。本手法により、従来主観に依存していた「表現性」の定量化が可能となり、教育現場における客観評価の基盤を提供する。

研究背景：動物模倣は演技訓練の基礎として広く用いられているが、評価は教師の経験と感覚に大きく依存し、基準の不統一や再現性の低さが課題であった。一方、姿勢推定と機械学習はスポーツ・医療・動作認識などで発展してきたものの、演技に特有の「表現的質」を扱う研究はほとんどない。本研究は、このギャップを埋めるため、模倣動作の構造を抽出し、定量的な評価モデルとして活用することを目指す。

研究成果：本研究では、姿勢推定と機械学習を統合した ML-PSDAEF を構築し、動物行動模倣の表現性を客観的に評価できる枠組みを示した。教師 5 名の採点は高い一致度（ICC = 0.889）を示し、教師評価は機械学習に適した構造化を有することが確認された。（表 1）。特徴量設計と LOSO-CV による検証の結果、Ridge Regression が最も高い予測精度を示し、特にリズム関連指標が得点に強く影響する主要因であることが明らかとなった。さらに RFECV により、わずか 2〜3 の特徴量だけで高い相関（最高 $\rho=0.729$ ）を維持できることが示され（図 1）、表現評価に必要な本質的構造が少数の要素に集約されることが確認された。

ICC Type	Model Description	ICC Value	p-Value	95% CI
ICC1	Single, absolute agreement	0.615	4.86×10^{-58}	[0.53, 0.70]
ICC2	Single, random-effects	0.616	1.66×10^{-60}	[0.53, 0.70]
ICC3	Single, fixed-effects	0.628	1.66×10^{-60}	[0.55, 0.71]
ICC1k	Average, absolute agreement	0.889	4.86×10^{-58}	[0.85, 0.92]
ICC2k	Average, random-effects	0.889	1.66×10^{-60}	[0.85, 0.92]
ICC3k	Average, fixed-effects	0.894	1.66×10^{-60}	[0.86, 0.92]

表 1（ICC 一致度の検証結果）に示すように、教員 5 名の平均採点は ICC(2,k)=0.889 と高い一致度を示した。
これは、採点が機械学習によって学習・再現可能な一貫した構造を持つことを意味する。

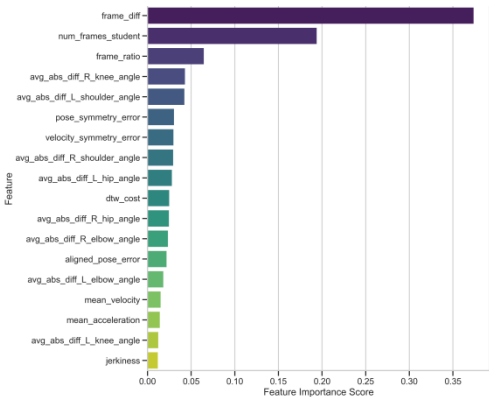


図 1：18 種類の特徴量が得点予測にどの程度貢献しているかを示した重要度ランキングである。
リズムに関する特徴量が最も高い寄与を示し、模倣表現の評価においてテンポ構造が中心的な役割を果たすことが明らかになった。

社会への影響：本研究により、演技教育における評価が以下の点で改善されます。客観的・再現性のある採点が可能になる，学生が自分の弱点（リズム、角度、姿勢整合）を数値で把握できる授業内でのリアルタイム自己評価ツールとして転用可能 AI による教育支援の新しい応用領域を開拓表現教育の質保証や、学習者の可視化された成長支援に寄与する成果です。

専門用語：

MediaPipe：Google が開発したリアルタイム姿勢推定フレームワーク

RFECV：特徴量を段階的に削減し最適サブセットを探索する手法

DTW (Dynamic Time Warping)：動作のテンポ差を補正し類似度を測る手法

LOSO-CV：被験者ごとに完全に分離した交差検証で一般化性能を評価