

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	スポーツ技能獲得における段階的訓練手法に関する研究
Title(English)	A Progressive Training Method for Sports Skill Acquisition
著者(和文)	廖振傑
Author(English)	Chen-Chieh Liao
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第387号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小池 英樹,篠田 浩一,三宅 美博,金崎 朝子,井上 中順
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第387号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Chen-Chieh Liao		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	小池英樹	教授	審査員	井上中順	准教授
	審査員	篠田浩一	教授			
		三宅美博	教授			
	金崎朝子	准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「A Progressive Training Method for Sports Skill Acquisition」と題し、スポーツの技能獲得の問題を三つの過程に分割し、機械学習の手法を用いてそれらを繋いでいく学習フレームワークを提案している。本論文は英文7章からなる。

第1章「Introduction」では、本研究の背景として「技能獲得の民主化」という概念を提示している。従来のスポーツ技能獲得は、コーチの専門知識や限られた施設を必要とすることが多い。一方、映像技術の進化や機械学習の普及により、動作解析や姿勢推定が手軽に行えるようになり、ユーザの技能獲得を支援するシステムが多様に登場してきた。そこで、既存のトレーニング支援システムが抱える課題として、「汎用的なお手本で個人差を無視してしまう」「初心者と上級者のギャップが大きすぎる」「どの関節をいつ修正すべきかが分かりにくい」などの問題を指摘している。本章ではそれらの問題意識をもとに、パーソナライズされた学習目標と誤差指摘の両面を兼ね備えた総合的なシステムを本研究の目指すゴールと掲げている。

第2章「Related Work」では、スポーツの技能獲得やフォーム修正に関わる研究をまとめている。姿勢推定やモーションキャプチャ手法、さらにはスタイル転移や動作同期技術などの既存文献を取り上げている。特に、近年は機械学習を活用した運動解析が盛んになっているが、多くは単一の専門家の動作を模倣させるだけで、途中段階にある中間レベルのフォームを設計・提示する研究は少ないことを本章で明らかにしている。

第3章「Research Proposal」では、本論文で解決する問題を体系的に整理し、「Coach Navi」と「AI Coach」という二つのシステムを連携させた三段階パイプラインを概説している。第一段階は、ユーザが模倣しやすい中間レベルの動作を抽出する段階であり、上級者のフォームとユーザの現状の間を埋めることで学習負荷を適切に抑える意図がある。第二段階では、その中間動作をユーザの外観に合わせて3Dアバター化することで、学習者が自分の身体モデルで理想に近いフォームをイメージしやすくする。第三段階では誤差検出を用いて、どの関節をいつ修正すべきかを具体的に指示する。特に「中間フォーム」を用いる発想は、単に専門家の動作をコピーするという既存研究とは一線を画し、初心者にとって無理なく段階的に高度な動作へ移行する仕組みとして特徴的である。

第4章「Personalized Motor Skill Training with Adaptive Learning Targets」ではCoach Naviの詳細を扱う。本システムはVAE-MST(変分エンコーダとモーションスタイル転移の組み合わせ)を用いて、ユーザの現在のスキルレベルから適切な中間レベル動作を見つけ出し、それをユーザの体格に合わせて3Dアバターで提示する。具体的には、まずモーションデータセットからスキル差を捉える潜在空間を学習し、中間レベルのモーションを抽出する。次にモーションスタイル転移によって、専門家のスタイルを保ちつつユーザの体型に適合させた「理想の自分」を合成する。ユーザスタディでは、運動技能における重要な指標となる目標動作との関節の回転誤差に関して、3つの条件に分けてそれぞれの訓練効果を調査した。練習前誤差と練習後誤差から練習後の誤差改善率を調査したところ、従来の上級者ビデオ再生手法(-7.5%)と上級者3Dアバターの可視化手法(0.13%)を上回る改善(10.54%)がCoach Naviによる訓練で観測された。またアンケート調査の結果から、Coach Naviが最も学習者にとって模倣しやすくモチベーションを高める手法であることが示唆された。

第5章「Motor Skill Training System using Motion Discrepancy Detection」ではAI Coachの詳細が述べられている。AI Coachは、比較する2つの動作を同期させ、潜在空間を用いて細かな誤差を検出・強調表示するシステムである。具体的には、まずTemporal Cycle-Consistency(TCC)損失関数で学習された深層ニューラルネットワークで2つの入力動作を同期させ、次にネットワークの潜在空間上で両者の差異を定量化する。この潜在空間にはSkeleton Attentionという注意機構を

組み込み、骨格入力から関節間の関係性を際立たせる。さらにデコーダを通じて、中間的なポーズを再合成することが可能となり、ユーザが段階的に修正すべきポイントを可視化できる。ユーザスタディでは、練習前誤差と練習後誤差の比較により、従来の上級者ビデオ再生手法 (-1.08%) と上級者骨格の可視化手法 (7.71%) を上回る改善 (20.79%) が AI Coach による訓練で観測された。アンケート調査では、AI Coach が示すエラーポーズの視覚化が「どこをどう直すか」を明確に伝え、初心者にとって理解しやすいという評価が得られた。

第6章「Discussion」では、Coach Navi と AI Coach を総合的に論じ、運動学習の観点から議論している。本章では特に、初心者が明確なターゲットを意識しやすくなる「理想の自分」効果や、機械学習による誤差検出と運動の「コツ」との関係を深掘りしている。また短期的な学習効果だけでなく、長期にわたるスキル形成の観点や、バイオメカニクス情報や筋電センサ等を統合する将来的展望も示唆している。

第7章「Conclusion」では、本研究で提案した Coach Navi と AI Coach の統合的なアプローチが、スポーツ技能獲得の民主化に貢献し得ることを示している。二つのシステムはそれぞれ役割が異なり、前者はモーション選択とアバター化で学習者をスキルに合わせて誘導し、後者は誤差検出で学習者に具体的な修正点を提示する。これらを組み合わせることで、初心者にとってはハードルの低く、かつ上級者に近づける段階的学習が実現する。

以上、本論文では現行のスポーツ技能獲得の問題を3つの過程に分け、それらを繋いでいく学習パイプラインを提案し、Coach Navi と AI Coach という2つのシステムを用いて実現した。これらの手法の有効性は複数のユーザスタディから肯定的に示唆されており、学習者が実際に学習すべきポイントを段階的かつ明瞭に把握することへの貢献が確認された。以上のことから、本論文は学術的に高い貢献があると判断し、博士(学術)の学位として十分価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。