

# 仮想鏡：学習者と教示者の動作の違いを明確にする 動作学習支援システム

倉本 到<sup>†</sup> 稲垣 喜一<sup>‡</sup> 渋谷 雄<sup>†</sup> 辻野 嘉宏<sup>†</sup>  
<sup>†</sup>京都工芸繊維大学 <sup>‡</sup>京都教育大学

舞踊や伝統工芸技術、スポーツ技術など、その習得のために主として動作を学習する場面は数多い。動作学習において効果的なのは、教師動作を学習者が模倣し、違いをその場で認識することである。これを実現するために、本研究では鏡を模したスクリーンに事前に取得した教師動作を学習者の動作とリアルタイムに重ね合わせて提示し、同時に動作の差を視覚的に提示するシステムである「仮想鏡」を開発した。既存手法である教師動作との並置および単純重ねあわせとの比較評価の結果、本手法は既存手法より容易に違いの認識ができる手法であることがわかった。

## Learning Support System of Physical Motion with Indication of the Difference between Teacher's Motion and Learner's One

Itaru KURAMOTO<sup>†</sup>, Yoshikazu INAGAKI<sup>‡</sup>, Yu SHIBUYA<sup>†</sup> and Yoshihiro TSUJINO<sup>†</sup>  
<sup>†</sup>Kyoto Institute of Technology <sup>‡</sup>Kyoto University of Education

An effective and simple way to learn some physical motions such as dancing, playing sports, making traditional crafts, and so on, is to mimic teacher's motion. In this style of learning, it is important for the learner to recognize the difference between the teacher's motion and his/her one. We propose Augmented Practice Mirror (APM) learning support system. APM shows the mirror image of learner's motion, overlapped teacher's motion, and the difference between them. These three images are shown simultaneously on a large screen as virtual mirror in real time. As a result of the experimental evaluation, it is found that APM is better in recognizing the difference between the participant's motion and the teacher's one than two common methods.

### 1 はじめに

工芸品の作製や舞踊などの伝統的な技術の継承では、学習者はふつう、親方や師匠などと呼ばれる技術保持者（以下、教師と呼ぶ）から直接教示を受け、あるいは教師の所作を見習い、独習することでその技術を受け継ぐ。というのも、通常の学習と違い、このような伝統的技術の学習では、1) 教科書のような教材が充実していない、2) 動作や所作など、静的記述に向かない内容が数多く含まれている、ことが多いためである。この傾向は伝統技術のみならず、スポーツや運動競技など、身体を動かす技術を競うものに多く見られる。

しかし、特に専門性の強い伝統技術では、「ひとり

親方」という言葉が示すように技術を有する教師の減少や高齢化が進んでおり、先に示したような直接教示に基づく技術継承がままならないことが多く、結果として伝統技術が失われることが危惧される。そこで、これまでこの動作所作を含む技術の継承を計算機で支援するという研究が昨今活発になっている。技術継承を支援する取り組みには、大きく分けて;

- 技術の保存と再生
- 保存された技術の学習を支援

の2側面がある。本研究は後者に属する。

本研究では、動作学習を教師の動作を模倣することで実践される模倣学習ととらえ、模倣学習に必要

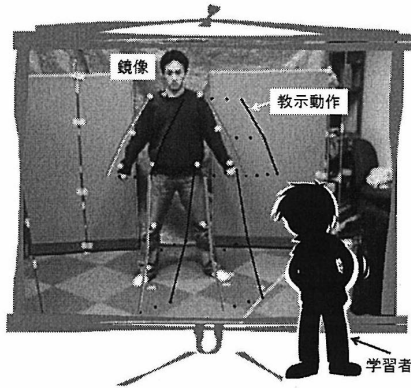


図 1: 仮想鏡の外観

な機能を分析する。そして、ミラーインタフェースに基づく動作学習支援システムである仮想鏡を実装し、評価を行う。ミラーインタフェースは、ユーザの動作を映像として取得し、その映像をユーザ全面のスクリーンに鏡像提示することで、ユーザの動作に対するフィードバックを与える手法である。超鏡 [1] を初めとして数多くの実現例が存在する。仮想鏡は動作学習のインタフェースとして、このミラーインタフェースを利用する (図 1)。

以降、2 節で動作学習を分析し、必要な機能を抽出する。続く 3 節で仮想鏡の実装を詳述し、4 節で実際に学習を体験させた被験者の主観に基づくユーザビリティ評価の結果を述べる。

## 2 動作学習

本研究で対象とする模倣に基づく動作学習では、学習者は対象となる教師動作を観察し、それを模倣する。次に学習者はその違いを認識し、修正する。さらに、修正結果に基づいて再び教師動作を観察し、模倣する。すなわち、模倣に基づく動作学習は以下の段階を繰り返す学習行為である。

1. 理解：学習者は教師動作を観察し、教師が実際にどのように身体を動かしているかを推測する。

2. 実践：学習者は推測に基づき、実際に自分の身体を動かす。
3. 確認：学習者は、実際に行った動作と教師動作との違いを認識する。

この考え方は、機械学習でも応用されている [2]。以下では、この模倣に基づく動作学習を単に「動作学習」と呼ぶ。

動作学習における主たる問題のひとつに、確認段階において違いを認識することが容易でないことが挙げられる。一般的な動作学習では、学習者はビデオ映像で教師映像を見ることが多いが、映像を見る理解段階と、実際に模倣する実践段階は時間的に分離している。この時間的分離が理解を妨げていると考えられる。

また、違いを認識できたとしても、学習者はその違いが何に起因して発生しているかを理解しなければ動作の改善が図れない。そのためには、違いが発生したその瞬間に学習者はどのように身体を動かそうとしていたかを学習者が認識できなければならない。しかし、一般的な動作学習では、確認段階が理解段階と実践段階の結果を用いて行われる以上、実践段階と時間的に分離する。そのため、違いの発生時に学習者がどのように身体を動かそうとしていたかを理解することは難しい。

この実践段階と理解段階を同時に行うために、ビデオ映像を見ながら模倣する方法が考えられる。この場合、学習者は同時にビデオ映像と模倣動作の両方に同時に注目し、その違いを認識しなければならない。しかし、教師画像は刻々と変化し、学習者は模倣を続ける必要があるため、学習者は違いの認識を短時間で終わねばならず、負担が大きい。

すなわち、効果的な動作学習のためには、以下の 3 機能を実現しなければならない。

1. 理解と実践の重畳：教師動作と模倣動作を同期して提示する
2. 実践と確認の重畳：模倣動作と教師動作との差を、模倣動作自身と同期して提示する

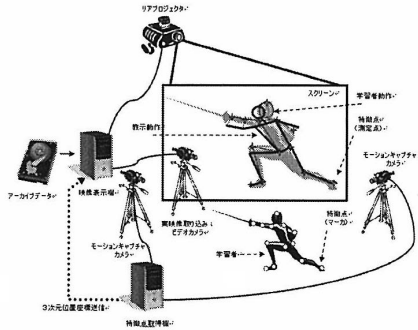


図 2: 仮想鏡システム概要

3. 確認負担の軽減：教師動作と模倣動作との差を、学習者の負担が小さい形で提示する

### 3 仮想鏡

仮想鏡は、ミラーインタフェースに基づく動作学習支援システムである。システムの概要を図 2 に示す。学習者の動作を通常のカメラとモーションキャプチャ用のカメラで同時に取得し、モーション情報から教師動作との差分を求め、通常カメラで取得した映像の鏡像反転に重ねて提示する。差分計測と動画生成は実時間処理し、処理遅延は映像 1 コマ分 (1/30 秒) 以内である。

仮想鏡で提供される機能は、以下の 4 つに大別される。それぞれの機能を以降で詳述する。

- 差分計測
- 動作の提示
- 仮想鏡の制御
- 教師動作の事前取得

実装には、モーションキャプチャとしてライブラリー社の Radish に、赤外線カメラひまわり SP200 を 2 台接続して用いている。学習者の動作取得には LogiCool 社の USB カメラを用いている。また、モー

表 1: 特徴点

肩 (左右)	腰 (左右)
肘 (左右)	膝 (左右)
手首 (左右)	足首 (左右)

太字は基準点

ションキャプチャ専用の計算機 1 台と差分計測および画像合成用の計算機 1 台<sup>1</sup>を LAN 接続して用いている。

#### 3.1 差分計測

教師動作は 3 次元モーショントラッカにより取得された特徴点の時間変化により表現される。また、仮想鏡は学習者の特徴点を学習時に常時追跡する。現在の実装では、表 1 に示す点を特徴点として取得しているが、特徴点は追加・変更が可能である。

差分計測では、ある特定の時点で再生されている教師動作の特徴点の位置と、その時点の学習者の特徴点の位置とを比較し、その差を求める。計測は以下の順に行われる。

1. **倍率変更**: 差分計測のための基準点を決定する。基準点は特徴点中から動きの小さいと考えられる点を 2 点選択する。この 2 点間距離の教師動作と学習者間の比を教師と学習者の体格の比ととらえ、教師動作の提示サイズをその比に合わせて調整する。
2. **位置合わせ**: 調整された倍率の教師動作の特徴点を、基準点を基準として学習者の特徴点と重ね合わせる。したがって、基準点は完全に重なり、両者間に差は発生しない。
3. **差分算出**: 位置合わせ結果に基づき、各特徴点ごとの差分を求める。

<sup>1</sup>いずれの計算機も CPU に Intel 社 Core2Duo 2.6MHz、主記憶 2GB を搭載した一般的な PC である。

### 3.2 動作の提示

仮想鏡がスクリーンに提示する映像は以下の4種の組み合わせからなる。学習者は必要に応じてどの情報を提示するかしないかを切り替えることができる。

- 学習者の鏡像
- 倍率変更・位置合わせ後の教師動作。教師動作は特徴点と指定された特徴点間を結ぶ線分で表示される。現在の実装では、棒状のヒューマンモデル図形として表示される。
- 学習者の現在認識されている特徴点の位置、および特徴点間を結ぶ線分。
- 3.1節で求めた差分。差分は点線の線分で提示され、線分上の点は教師動作の特徴点に近いものほど寒色で、離れるほど暖色で提示される。すなわち、学習者の特徴点が教師動作と離れるに従い、線分上に暖色が提示されるため、差の大きさを色で直感的に理解することができる。

### 3.3 仮想鏡の制御

学習者の鏡像提示および特徴点取得はシステム起動中に常時行っているが、学習の円滑化のため、教師動作の提示は通常の映像操作と類似した以下の制御ができるインタフェースを有している。

- 再生速度制御
- 再生位置指定
- 一時停止

ただし、これらの制御操作は、動画を生成している計算機に接続されたマウスにより、計算機上のインタフェースを操作することで実現されている。

### 3.4 教師動作の事前取得

学習に用いる教師動作は、事前に取得しておく必要がある。仮想鏡は教師動作の事前取得機能を有し

ており、事前取得のためには、まず教師が学習者同様に仮想鏡の前で教師動作を行う。その動作をモーションキャプチャが取得し、教師動作データベースへ教師動作アーカイブとして記録する。記録の開始・終了操作は計算機上のインタフェースにより実現されている。

なお、仮想鏡では特徴点の位置とその時間変位のみが教師動作として必要な情報であるので、たとえば環境や機材の都合により教師が仮想鏡まで移動できない場合や、より高精細なモーション記録が必要である場合などでは、特徴点さえ一致させておけば、別のモーショントラッキングシステムを利用して得た記録であっても教師動作として用いることができる。

## 4 評価実験

### 4.1 設計

動作学習に重要である 1) 教師動作の認識、2) 学習者の動作の認識、3) 差分の認識が、仮想鏡により改善されたかを評価する実験を行った。本実験では、以下の2手法と3.2節で述べた仮想鏡が提示できるすべての情報を提示したもの（以下提案手法）の3種類の手法を全て被験者に体験させ、その違いを主観評価させた。

**並置手法** 教師動作と学習者の鏡像を横に並べて提示したもの。

**単純重ね合わせ** 教師動作と学習者の鏡像を重ね合わせて提示したもの。具体的には、3.2節における提示情報のうち、学習者の特徴点位置と差分の2つが提示されないもの。

被験者は大学生9名で、全員が学習対象となる動作であるダーツの投擲動作、砲丸投げ動作、ロボットダンス動作に熟達していない。被験者には全ての手法による動作学習を、それぞれ学習機能が十分理解できるまで体験させた。学習対象と学習手法、および手法利用順はカウンタバランスを考慮している。なお、筆者のうち1名がインタフェースの操作者と

表 2: アンケート項目

項番	項目
Q1	教師動作はわかりやすかったか
Q2	自分の動作はわかりやすかったか
Q3	教師動作と自分の動作の違いはわかりやすかったか
Q4	違いの点線による表示はわかりやすかったか

して従事し、学習者の希望に応じてインターフェースを操作した。

ある1手法による動作学習体験ごとに、被験者に表2のアンケートに回答させた。各項目とも、「わかりにくかった」を-2,「どちらでもない」を0,「わかりやすかった」を+2とした5段階の評価となっている。また、Q4は提案手法使用時のみ回答させた。

## 4.2 結果と考察

Q1からQ3までの結果を図3に示す。グラフ中矢印は、有意差 ( $p < .05$ , 実線) および有意傾向 ( $p < .1$ , 破線) を示している。なお、分析では学習対象となった動作の種別も独立変数としたが、動作種別にはすべての項目について主効果が有意でなかった。

Q1とQ2の結果より、学習者は映像が並置されているよりも、重ねて提示されているほうが教師動作や自己動作の認識が容易になっていることがうかがえる。このことは、2節で述べたように、同時に複数の映像を異なる場所で提示すると、両者を同時に認知することが難しくなる、という点と合致する。

Q3の結果より、並置よりも重ね合わせが差の理解に有効であり、かつ、提案手法は従来手法よりも差の理解を促進させていることが示唆される。すなわち、単に画像を重ねるだけではない提案手法は、より学習者に有用な差を提示できると考えられる。

Q4の平均値は1.0(指標1は「どちらかという」とわかりやすい)となった。この結果より、被験者

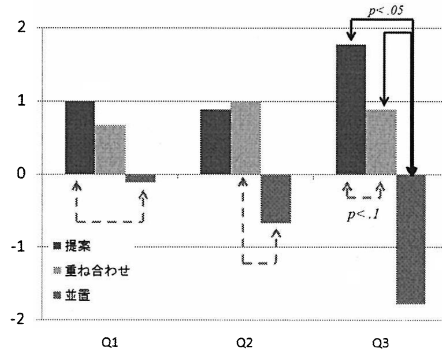


図 3: 結果 (Q1~Q3)

は差の表示として点線を利用することには否定的ではないが、それほど有効と考えているわけではないこともわかる。これは、鏡が2次元的に差分を表示するため、鏡面正対方向(鏡に向って前後方向)の差が大きいときには点線が見にくくなるのが理由のひとつとして考えられる。

## 5 関連研究

動作学習を支援する研究は幅広く行われているが、2節で述べた3機能をすべて支援した研究はほとんどない。

山本ら[3]は、水泳学習において事前に取得した教師動作と学習者動作を合成した映像を利用して比較するシステムを提案している。菅野ら[4]はバレーボールのスパイク動作の理解のために、動作の瞬間画像を短い間隔で撮影し、それを重ねて提示することで動作の変遷を直感的に提示する手法を提案している。いずれも理解と実践の重畳を実現する手法であり、特に後者は学習者の理解を支援する提示手法を実現しているが、その画像や映像の合成は実時間的に行っておらず、実践段階と確認段階が分離している。

畑山らのParavie[5]は、ダンス学習において、教師動作と学習者の映像を並べて提示することで、比較



を容易にする手法である。また、本研究でも利用しているミラーインタフェースを用いての動作学習支援手法もいくつか提案されている [6]。さらに、本庄ら [7] は半透過型ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いて、教師動作を学習者に常時提示できる手法を提案している。これらはいずれも教師動作と学習者の模倣動作を実時間で同時に提示することのみ注目しており、学習者の負担軽減のためにその差を認識させるための支援は議論されていない。

笹山ら [8] は、半透過型 HMD と加速度センサを用い、教師動作を直方体で構成された人体モデルとして、ユーザの視線で見えるはずの位置に提示することで、差を直感的に表現する手法を提案している。この手法は本研究の目指す 3 機能がすべて実現されている。しかし、本研究は鏡像を用いており、学習者の動作学習の規模 (全身なのか、手先だけなのか) に応じて柔軟な実装が可能であるのに対し、HMD の視界では学習者は全身を見ることはできないため、全身を動かす動作の学習には適しておらず、本研究のほうが適用範囲が広いと推察される。

## 6 おわりに

仮想鏡は、効果的な動作学習のための 3 機能である、理解と実践の重畳、実践と確認の重畳、確認負担の低減を目指して実装された、ミラーインタフェースに基づく動作学習支援システムである。仮想鏡では、学習者の鏡像に教師動作を重ね合わせることで、教師動作と自己の動作とを直感的に比較させ、節点の位置の違いを点線とその色変化で表現することにより、その差を視覚的に認知させる機能を有している。主観評価の結果、教師動作との並置手法および単純重ね合わせ手法よりも、動作の差の理解が容易になり、直感的に理解しやすい手法であることがわかった。

仮想鏡は現在、学習者以外にインタフェースを操作するための補助者が必要である。実用化を図るため、現在個人学習に適切なインタフェースの検討と実装を行っている。また、より高精細な動作学習を

目指した機能の充実を図ることを考えている。さらに、本手法を実際に伝統技術を継承している現場で用いることによる評価を検討している。

## 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金 (基盤研究 (B)20300037) による。

## 参考文献

- [1] 森川 治: “超鏡: 魅力あるビデオ対話方式をめざして”, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.3, pp. 815-822 (2000).
- [2] 田淵 一真, 谷口 忠大, 榎木 哲夫: “模倣学習と強化学習の調和による効率の行動獲得”, 第 20 回日本人工知能学会全国大会講演論文集, 3C1-2, in CD-ROM (2006).
- [3] 山本 奈緒, 高内 一平, 飯田 尚紀, 武田 昌一: “水泳教育のための 3 次元 CG を用いた動き表示に関する研究-基本動作の 3 次元 CG 化-”, 第 5 回情報科学技術フォーラム (FIT2006) 講演論文集, pp.541-543 (2006).
- [4] 菅野里美, 松田浩一, 高橋智也: “バレーボールにおける練習の流れを考慮したスパイク動作簡易確認システム”, 第 70 回情報処理学会全国大会講演論文集, 1ZH-3, pp.4-749-4-750 (2008).
- [5] 畑山 裕貴, 白井 旬, 佐藤 昂, 古岡 優実, 奥出 直人: “Paravie: Mirror Dance Entertainment System For Everyone,” エンタテインメントコンピューティング 2006 講演論文集, p.33 (2006).
- [6] 細谷 英一, 北端 美紀, 佐藤 秀則, 原田 育生, 野島 久雄, 森澤 文晴, 武藤 伸一郎: “実世界インタラクションのためのミラーインタフェース”, インタラクション 2003 講演論文集, pp.95-96 (2003).
- [7] 本庄 直樹, 伊坂 忠夫, 満田 隆, 川村 貞夫: “HMD を用いたスポーツスキルの学習方法の提案”, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol.10, No.1, pp.63-70 (2005).
- [8] 笹山 裕輔, 小坂 崇之: “MR およびモーションキャプチャを用いた演舞学習システム”, エンタテインメントコンピューティング 2008 講演論文集, pp. 33-34 (2008).