

熟練者の知識構造の構築と可視化による動作習得支援システムの構築

Development the physical operation acquisition supporting system using expert's knowledge structure

神田 賢一*1
Keniti Kanda

山形 圭佑 大本 義正 西田 豊明*2
Keisuke Yamagata, Ohmoto and Toyoaki Nishida

*1 京都大学情報学研究科知能情報学専攻
Department of Intelligence Science and Technology
Graduate School of Informatics, Kyoto University

*2 京都大学情報学研究科知能情報学専攻
Department of Intelligence Science and Technology,
Graduate School of Informatics, Kyoto University

We generally try to acquire physical operation by Instruction of experts. But there are some problems. One problem is that an expert must reteach the same thing when a student changes. Another problem is student's time and monetary heavy burden. So we aim to solve this problem by building physical operation acquisition supporting system. Using this system, users can use an expert's knowledge structure accumulated on the system and can receive instruction using the expert's knowledge about the notes guessed from comparison of the body operation data of self and an expert. And in this paper, we conducted the evaluation experiment and checked the advantage of the system.

1. はじめに

職人の仕事, 芸能, 芸術, スポーツといった身体的な活動が主となる分野において, 実践者は, 身体感覚やイメージ, 情動等と結びつけて言語として表現した, メタファーに近い暗黙知を持っていることが知られている[1]. このような暗黙的な知識を多く含む身体的な動作の習得を試みる場合, 我々は一般的に熟練者の指導を受けるが, この際, 熟練者側には, 生徒が変わると同じ事を教え直さなければならないという問題があり, 生徒側には時間的, 金銭的な負担が大きいという問題がある.

これらの問題点を改善するために, 身体的な動作の習得を目指す研究は多く存在する. 例えば, スポーツの分野では, 蝶間林は, テニスのプロ選手の筋電データを取得することによって体の動かし方, 呼吸データを取得することによって体と呼吸の関係性を調べている[2]. また, 竹川は, モーションセンサを用いることで, ピアノの演奏に際するプロの指の動かし方を取得し, また光る鍵盤を用いることにより情報提示の仕方を工夫することで, ピアノの学習支援システムを設計, 実装している[3]. このように, 暗黙的な知識の伝達を目指す研究は多いが, これらの研究は, 動作のコツを理解することを支援するのではなく, 動作を模倣することを支援するものになっていることが多く, 暗黙的な知識の習得には向いていない.

そこで, 本稿では, 熟練者の知識を蓄積し, 利用することで, 身体動作の理解, 習得を支援するシステムを構築することを目指した. 通常, 熟練者は, 指導の際, 生徒の動きを確認し, 自分の知識や経験を参照し, 自分の動きを見せることで生徒に修正すべき点を伝える, という流れを繰り返すことで生徒への指導を行う. そこで, 暗黙知を含む熟練者の知識を蓄積し, 熟練者と生徒の動作の比較を行い, 熟練者の知識を参照した生徒への指導を行うことで熟練者を必要としない動作習得環境の構築を目指した.

2. 本研究のアプローチ

本研究では, 熟練者の知識を蓄積し, 利用することで, 身体動作の理解, 習得を支援するシステムの構築, 評価を目指した. システム構築に際し, 暗黙的な知識の伝達モデル, 熟練者の知識の表現手法に関し, 以下 2.1, 2.2 節で述べる先行研究を参考とした.

2.1 暗黙的な知識の伝達モデルに関する先行研究

野中の SECI モデルは, 暗黙知を共同化, 表出化, 連結化, 内面化する過程において途中で形式知に変換してから再び暗黙知に変換することで, その知識を自分のものとするという手法であり, ナレッジマネジメントの基礎理論としても知られている[4]. また, 竹田と丸茂は, 学習者が暗黙的な知識を理解していく過程では, 実践に近い状況の中で「行為→フィードバック→省察→行為」というフィードバック・ループが何らかのかたちで生じていると述べている[5]. 本研究では, この竹田・丸茂のモデルを身体的な動作習得のための基板として, 熟練者の知識構造化システムを実装する.

2.2 知識構造化に関する先行研究

神田は, 知識構造の可視化機能と共有機能を共に備えたシステムを開発した[6]. このシステムでは, 写真やテキストを「知識の断片」とみなし, 「知識の断片」間の関係性を表現することで, 周辺知識を含む, 自己の「知識の構造」を可視化, 構築することを目指している. また, 構築された知識の構造を他者に見せることで, 暗黙知を含む知識の伝達, 共有を補助することを目指している. システムの使用例は下図1のようになっている.



図1: システム使用例

連絡先: 連絡先: 神田 賢一, 京都大学情報学研究科知能情報学専攻, 〒606-8501 京都市左京区吉田本町(工学部 10号館 214 号室), Tell: 075-753-5371 Fax 番号: 075-753-4961, E-mail: kanda@ii.ist.i.kyoto-u.ac.jp

本稿ではこのシステムを基盤とし、後に述べる機能を組み込むことで熟練者の知識を蓄積、利用するシステムを構築した。

2.3 システム構築に向けて

これらの先行研究により、暗黙知を含む身体動作を習得する際には、熟練者の動作を記録し、再現するだけでは不十分だという考察、表出される動作の裏に潜む暗黙知を伝達する適切なモデル、及びそれらの暗黙知を可視化するための手法に関する展望を得た。そこで、本研究では、これらの研究を基礎とし、暗黙知を含む熟練者の知識の蓄積、可視化、及びユーザの動作を取得し、比較による、熟練者の知識を参照した生徒への指導を実現するシステムの構築を目指した。

システム構築にあたり、熟練者と生徒の動作データの比較手法、動作習得にあたりシステムが備えるべき機能の確認のため、以下の予備検討を行った。

2.4 予備実験 1: 加速度センサを用いたロボットの操作

任天堂の家庭用ゲーム機のコントローラである Wii リモコンを用いて、Aldebaran 社の小型ヒューマノイドロボットである NAO を操縦して歩かせるという実験を行い、Wii リモコンの 3 軸加速度センサの値を取得することで、熟練者と生徒のデータの比較を行った。この際、操作の比較を行う上で重要なことは操作の時系列のパターンだと考え、比較手法として、時系列のパターンの長さが違っていてもパターン間の距離を求めることができる DP マッチングを選択し、教師と生徒の Wii リモコンの動かし方の時系列データの距離を計測した。

2.5 予備実験 2: 社交ダンスのステップ指導実験

予備実験2の目的は、動作を習得するために必要な機能の表出化である。この実験では、実際のダンスの練習と同じように、ダンスの教師(アマチュア A 級ライセンス所持)が生徒(初心者)に、ダンスの基本ステップを教える実験を行った。実験内容のビデオ、アンケートを参照した所、以下の点がシステムに必要な機能だと考えられた。

- 各生徒に指導する点が重複しやすいため、他の生徒に指導した際のデータを蓄え、確認しやすいようにしておく。
- 動画を見ながら動作の復習をすることができる
- 実践と復習との間の時間を短くする

3. システム概要

本稿2章で述べた先行研究と予備実験の結果をふまえて構築したシステムの説明を行う。このシステムは前述した知識構造可視化、共有システムを基盤とすることで自己の知識を表現することを可能としており、またシステム使用者の動きを取り込み、他の使用者の動きと比較する機能を有している。これらの機能により、熟練者の知識を利用し、身体的な動作の習得を支援する。システム上での熟練者の指導を繰り返し、システム上に熟練者の知識を蓄積していくことで、最終的には熟練者なしに動作の習得を行える知識構造をシステム上に表現できると期待している。システム動作の流れとしては、まず取得した動作データを、システム内に自動的に追加し、動作データを閲覧しつつ、教師の知識を参照するという流れとなる。以下でそれぞれに対応する機能について説明する。

3.1 動作データの取得、分析

動作データ取得部のシステムアーキテクチャは下図 2 のようになっている。



図2: システムアーキテクチャ

ここではダンスを行う際の動画とモーションデータを同期した上で連続して取得し、各瞬間のユーザの動きの速さや加速度などを求めている。また、その値と熟練者の動きの値を分析、比較を可能としている。モーションデータの取得方法としては、我々の研究室で開発したマルチキネクトによるモーションデータ取得システムを用いる。このシステムでは、複数台の Kinect のレンジセンサで距離情報を取得し、統合することでユーザの各関節の3次元位置を取得する方法で、骨格データを取得している。骨格データを時系列に並べることで、動作データを得る。骨格データの取得例は下図 3 のようになる。

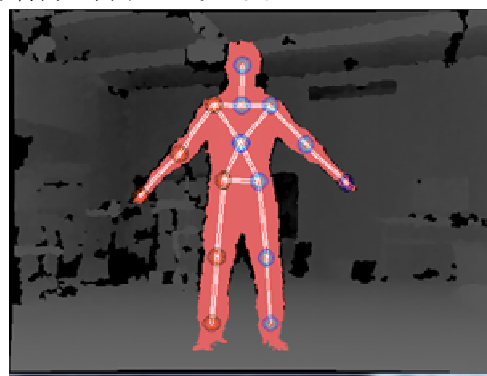


図3: kinect による骨格データ取得例

今回の実験環境においては、このモーションデータを一秒間に約 10-15 回記録している。この方法で得られた動作データは同じタイミングで取得された動画データ、音声データと同期し、事前の設定に従い、一ステップなど、一つの短い動きごとにまとめられ、システムが持つ三次元空間内に追加される(下図4)。



図4: 一つの短い動きに関する情報をまとめたオブジェクト

また、取得したモーションデータを元に、各点の短時間あたりの速さ、加速度、地面からの高さの変位を求め、教師データとの比較を行なっている。比較手法としては、DP マッチング手法を用いており、具体的には、まずこの三つの要素をベクトルとみなして、特徴ベクトルの距離をコサイン類似度で算出する。こうして算出した各瞬間におけるコサイン類似度を要素とする行列

Mを作成し、この行列に対して DP マッチングを適用することで、最小コストを算出している。ここで求められたコサイン類似度を用いることで、各瞬間における熟練者と生徒のデータの類似度を算出する。一つの短い動作ごとの DP の値を、対象となる時間内に含まれる動作データ全ての DP の平均値で算出し、熟練者と生徒の比較に用いた。DP の取りうる値は 0~1 で、1 が最も不一致度が高い状態を示す。

3.2 動作データの閲覧

動作を比較し、改善すべき点の確認を行うために、動作データを格納した動画の閲覧は有効な手段となる。そこで、本システムでは、以下の動画再生方法を用意した。

1. 全体再生機能
2. 手動での部分選択再生機能
3. スロー再生機能
4. 教師データと生徒データの差が大きいフェーズの動画抽出、再生機能

動作習得支援を行う上で、特に4の再生方法が重要であり、熟練者と生徒データの非類似度が大きいところを自動的に抽出し、生徒が踊っていないところを提示することが可能となっている。教師の動画、自分の動画、他の人の動画を見比べることによって、どこが間違っているのかを直感的に理解できるようにしている。

3.3 熟練者の知識の参照

本システムは内部に三次元空間を持ち、空間内の任意の点にオブジェクトを配置し、オブジェクト間の関係性を示すことで知識を表現する事ができる機能を備えている。その機能を用い、事前にシステム内部に構築された熟練者の意見や動きといった知識を参照しつつ、身体的な動作の習得を行える。今回構築したシステムでは、リアルタイム性の向上や生徒の負担軽減の観点から、システム内部に動作データをオブジェクトとして追加した際の追加位置の決定や他のオブジェクトとの関連性を一部自動化している。この機能により、生徒は教師データと比べてうまくいっていない部分を素早く比較し、その部分に関する教師の意見などの知識を得ることができる。

4. 本実験: 社交ダンスのステップ習得実験

システムを用いた動作習得が円滑に行えるか、システム上に蓄積されている知識を活用できるかという点を確認するため、システムの評価実験を行った。評価実験のタスクとしては、予備実験と同様に、社交ダンスのラテン種目であるルンバの基本ステップの習得というタスクを選択した。本章では、この評価実験の内容について述べる。システムの評価を行うために表 1 の①~③の3つの条件での評価実験を行った。

	①	②	③
システム	×	○	○
教師	○	○	×

表1: 実験設定

- ①では開発したシステムを用いずに、教師だけで生徒に社交ダンスを教える。
 - ②は開発したシステムを用いて、教師が生徒に社交ダンスを教える。
 - ③は開発したシステムだけを用いて、生徒一人で社交ダンスを学ぶ。
- ①~③の実験にはそれぞれ大学生 4 人に生徒役として参加してもらった(男性 2 名, 女性 2 名)。実験室の配置を下図5に示

す。ただし、①では Kinect によるデータの取得と、システムの使用は行っていない。



図5: 実験環境

各実験の詳細な設定を以下に示す。①~③の実験はこの順番で行い、②、③の全ての実験では、システムを継続して使用し、システム内への知識の蓄積と利用を繰り返している。なお、全ての実験において、生徒役の被験者には社交ダンスの経験がない。しかし、時間上の都合のため、予備知識として教師のダンスのステップをビデオで見せている。また、各実験において生徒役にアンケートを取ることで実験の評価を行った。各実験のアンケートの結果は後述する。

4.1 ①教師による社交ダンス指導

この実験の目的は、教師の直接指導に対する生徒の認識の確認、及び社交ダンスのステップに関する先生の知識と生徒の理解しにくい点の抽出である。この実験では、生徒がダンスのステップを踊り、その映像を見ながら教師が指導を行い、復習するという流れを繰り返した。

4.2 ②システムを用いた教師による社交ダンス指導

この実験の目的は、システムの機能を用いて、指導すべき点の提案が行えているか、ステップの習得を円滑に行えているか、教師の知識を構築できているかの確認である。この実験では、教師、生徒の動作データを取得し、システムにより指導すべき点の抽出を行い、その点に対する教師の指導をシステム上に記録するという流れを繰り返した。

4.3 ③システムによる社交ダンス指導

この実験の目的は、教師不在でも、システムによるダンスの改善すべき点の提案、その利用が行えているか、②で構築された教師の知識を利用できているかの確認である。この実験では、生徒の動作データを取得し、システムにより改善すべき点の抽出を行い、その点に対する教師の知識を参照することでステップの習得を図ると共に、知識を拡大していくという流れを繰り返した。

4.4 アンケート結果の分析、考察

生徒へのアンケートは 7 段階の SD 法で行い、各項目の右の評価を+3、左の評価を-3として集計した。また、以下 p 値は Mann-Whitney の U 検定の結果(両側検定)とする。各実験で得られたアンケート結果のうち、特徴的なものを紹介する。下の表2はシステムを用いた実験とシステムを用いなかった実験の比較結果である。

No.	アンケート項目(上:システムなし, 下:システムあり)	システムを用いない		システムを用いる(8セット)		p値
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
1	教師が遠くで指摘しているところは適切であったか? 教師と遠くとして出てきた動画は適切であったか?	3.00	0.00	2.25	1.22	0.019
2	違いがあるところは自分から言う前に教師に指摘されたか? 明らかに違いがあるはずのところの検出はできていたか?	1.00	3.74	1.38	2.42	0.929
3	教師の指摘は役に立ったか? マッチングの結果は役に立ったか?	3.00	0.00	2.00	2.00	0.026
4	動画のスロー再生は使いやすかったか? 動画のスロー再生は使いやすかったか?	0.25	2.96	0.75	3.08	0.722
5	動画を用いることで、ダンスを習得することの役に立ったか? 動画を用いることで、ダンスを習得することの役に立ったか?	1.50	1.00	2.50	1.41	0.026

表2: システム使用, 不使用の比較

表中, 赤字で強調したアンケート 1.3.5 の結果より, 教師が直接教えることには及ばないが, システムによる改善すべき点の提案の適切さ, 役立ち度合いは高煎り評価を得た. またマッチング結果から動画を自動表示することで, 教師がビデオを用いて教えることよりも役に立つとの有意差が見られた($p=0.05$). また, 下表3より, 開発したシステムを用いた場合, 教師がいないときのほうが, マッチングの結果が役に立ったという結果を得($p=0.06$), 教師がいない場合, 生徒は自分のどこが間違っているのかを知るためにシステムからの提案を頼っていることが示唆された.

No.	アンケート項目	システムあり, 教師あり(4セット)		システムあり, 教師なし(4セット)		p値
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
5	マッチングの結果は役に立ったか?	1.50	1.00	2.50	1.00	0.061

表3 システムによる改善すべき点の提案の役立ち度合い

4.5 システム利用の分析, 考察

各実験に際し, システムがどのように利用されているか, システムログを用いて分析した. 以下, 図6, 図7は実験③におけるある被験者の実験状況を示したシステムログの一部である.

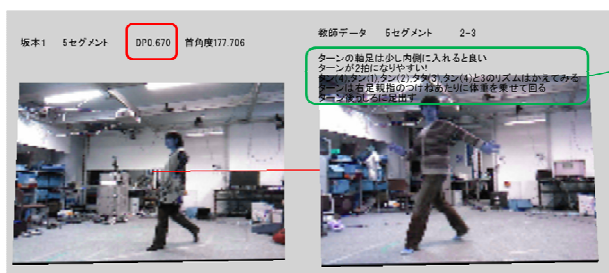


図6: 一度目の練習

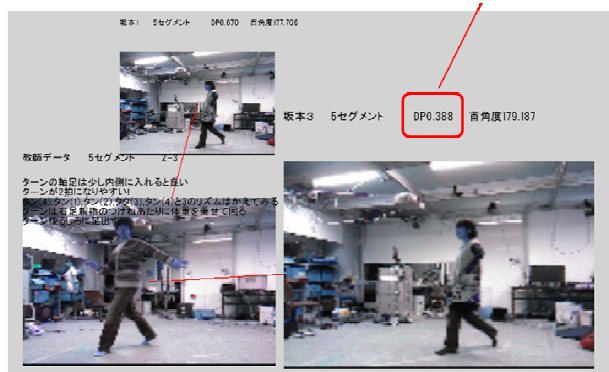


図7: 二度目の練習

被験者は一度目の練習において, ダンスのある部分において, 教師との動作の不一致度合いを示す DP の値が 0.670 と高い数値を計測した. そこでシステムは改善すべき点として生徒に提案し, 図6のように生徒と教師の該当部分の動作データを並べて表示し, 教師の動作データに付属する教師の知識を生徒に参照させている. その結果, 二度目の練習において生徒は,

図7のように該当部分の DP の値を 0.388 まで下げることができている.

4.6 実験全体考察

上述したアンケート内容, システム利用状況の分析から,

- 教師と生徒の動作で不一致度が大きい部分を自動で検出し, 生徒に改善すべき点として提案.
- 教師や他の生徒の動作との比較, 教師の知識の参照可能.

というシステムの機能により, 実際に熟練者に指導してもらうことには及ばないが, 身体的な動作の習得を円滑に行うことができるという示唆を得た. また, 教師が各生徒に行った指導や意見をシステム内に蓄積することで, 後から学ぶ生徒は, それらのシステム内に蓄積された知識を閲覧し, 自習できていることが, 熟練者のシステム内への書き込み回数が次第に減少していくことから示唆された. このことから, システム内に更に知識を蓄積していくことで, 熟練者の知識を十分に表現し, 熟練者の補助なしに円滑な動作の習得を行えることが期待できる.

5. まとめ

本稿では, 熟練者の知識を蓄積し, 利用することで, 身体動作の理解, 習得を支援するシステムを構築し, 構築したシステムの評価実験を行った. その結果, 熟練者の知識をシステム上に表現できており, システム使用者がその知識を利用してある程度の自習ができているという示唆を得た. しかし, 行った評価実験はシステムの利点の確認という面も大きく, 事前にシステム上に綿密な熟練者の知識を構築していないため, 熟練者の知識表現という面では十分でなく, より長時間の練習が必要と考えられる複雑な動作の習得に関して, システムの利点を確認することはできなかった. また, システムの処理速度の点で, ユーザに負担をかける点も見られた. これらの点の検証を今後の課題としたい.

参考文献

- [Bourdieu, P 1980] Bourdieu, P.: Le Sens Pratique (1980).
- [蝶間林利男 1976] 蝶間林利男: テニスレシーブにおける筋活動および呼吸層に関する研究(1976).
- [竹川佳成 2011] 竹川佳成: 運指認識技術を活用したピアノ演奏学習支援システムの構築 情報処理学会論文誌, Vol.52, No. 2, pp. 917-927 (2011).
- [Nonaka, I. 1995] Nonaka, I. and Takeuchi, H.: The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation, Oxford Univ Pr (Txt) (1995).
- [竹田陽子 2010] 竹田陽子, 丸茂美恵子: 情報技術支援によるフィードバック・ループの効果, 情報処理学会研究報告, Vol. 87, No. 4, pp. 1-8 (2010).
- [神田賢一 2010] 神田賢一: 知識空間の可視化と共有支援システムの開発とその利用, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 72, No. 4 (2010).