

からだマップテーブルを用いた身体動作の 比較伝授に関する一検討

A Study on Comparative Teaching Techniques about Body knowledge using body map table

亀田明男¹ 江崎健司¹ 平野貴也² 瀬下仁志¹

Akio KAMEDA¹, Kenji ESAKI¹, Takaya HIRANO² and Hitoshi SESHIMO¹

¹ 日本電信電話 NTT 人間情報研究所
¹NTT Ltd. Human Informatics Laboratories
² 名桜大学
² Meio University

Abstract: Acquisition of physical skills involves a routine in which students practice based on demonstrations by instructors and receive further guidance on elements to be improved. In this paper, we propose a movement improvement routine that introduces a "body map table" to simplify the task of "verbalization," with the aim of allowing students to perform the routine themselves.

1. はじめに

身体的なスキルを獲得するには、スキルを獲得済みである上級者の動作を模倣する方法がある。その場合、学習者は自らの動作と比較しながら、動作が異なる箇所を逐次改善することが考えられる。

動作の模倣においては、上級者に指導者となってもらい正しい動作の実演や、一連の動作における身体感覚の注意点等について直接指導を受けて実践する方法がある。この時、指導者から改善すべき着眼点（例えば、人の関節といった肘や膝等）に対して、その感触や使い方のさらなる指導を受けるといった一連のルーティンが行われる。

しかし、上記のようなルーティンでは、指導者が直接指導（フィードバック）するための情報として、学習者の動作を把握した上で、改善すべき着眼点に関する分析作業や、分析結果を伝えるための拘束時間を必要とする。

ここで、近年、動作の模倣を支援するシステムとして、予め指導者と学習者の動作を映像情報として取得し、これらの動作を同期して映像で比較するビデオフィードバックシステム[1][2]が提案されている。このようなシステムを活用することで、映像の比較による分析作業を必要とするが、学習者のみ

で改善ルーティンを実践可能とすることができる。

また、映像を視聴しながら改善点を言語化して表現する観点から、「からだメタ認知」の活性化支援システム[3]が提案されている。このシステムを活用することで、改善ルーティンが可能と考えられる。

しかし、これらのシステムでは、学習者自身による改善ルーティンの実践が可能となる一方で、改善した身体動作にむけて、「指導者の身体動作」と「学習者の身体動作」を比較し、着眼点を見出す分析作業が必要となる。

そこで我々は、改善すべき着眼点を人の関節と仮定し、「指導者の身体動作」と「学習者の身体動作」を比較して、着眼点（関節）の状態の違いを見出す手法を提案する。本研究によって指導者が学習者毎に着眼点を見出すといった分析作業にかかる時間を削減可能にしたり、状態の違いを言語化して指摘する能力が無い指導者でも指導可能になることを目指すことで、学習者自身が改善ルーティンを簡易に実践する手法について検討を行っている。このような学習者自身による改善ルーティンの手法が確立すれば、指導者いなくても、学習者毎にパーソナライズされた指摘をすることが可能となる。

そこで本稿では、2章で身体動作の比較に関する従来研究について述べた後、改善すべき着眼点の分

析作業を簡易化するよう、3章で、からだメタ認知システムにおける映像の同期再生[3]や、2次元骨格情報を用いたバスケットシュートの姿勢解析評価の例[4]に着想を得て、ある動作タイミング毎に、着眼点（関節）の状態の違いを比較可能とする「からだマップテーブル」を導入し、学習者自身による改善した身体動作を言語化して表現することを促すことを目的とした改善ルーティンを提案する。さらに4章では、プリミティブな動作としてブランコの乗り方を例に、上記の「からだマップテーブル」を作成し改善した身体動作を言語化して表現することを実践したので報告する。

2. 関連する従来研究

身体動作の比較に関しては、2次元骨格情報を用いたバスケットシュートの姿勢解析評価[4]では、OpenPose[5]を用いた2次元姿勢情報から、バスケットボールのシュートフォームを解析している。具体的には熟練者と未経験者のフォームを撮影し、着眼点となる要素として肩と膝の関節角度を用いて比較を行っている。また、2次元姿勢情報に基づく速度、加速度、躍度を利用した動作自動教示システム[6]では、関節を人体のパーツ毎に分割し、それぞれのパーツ内での関節の速度、加速度、躍度を算出して平均を求め、 \cos 類似度により動作を比較している。これらの手法は、関節角度や \cos 類似度といった数値での動作の比較を行っているが、改善した身体動作を言語化して表現する事に関しては、未検討である。

また、改善した身体動作を言語化して表現する観点では、大野らによる「からだメタ認知」の活性化支援システムが提案されている[3]。提案システムでは、学習者自身による動きを撮影した動作映像として、通常の3人称視点の映像に加えて1人称視点映像を活用し、別試行の動作映像を比較提示する等により、さらなる着眼点や気づきの喚起を狙っている。この手法では、映像を視聴しながら直接比較して改善した身体動作を言語化して表現することを促すが、この際に、着眼点となる人の関節やその状態については、視聴者である学習者が、「指導者の身体動作」と「学習者の身体動作」を比較し状態の違いを分析し、コメントとして記述する作業を行う必要がある。

また、学習者に情報を提示（教示）する手法としては、ジャグリングを例とした教示システムが提案されている[7]。この手法では、「学習者の身体動作」から習熟度を算出し、これを用いて学習者に情

報を提示（教示）するが、必ずしも着眼点（関節）の状態の違いを提示しないという課題がある。

3. からだマップテーブルの提案

動作の模倣を支援するシステムとして、予め指導者と学習者の動作を映像情報として取得し、これらの身体動作を同期して比較するビデオフィードバックシステム[1][2]が提案されている。[1]の手法では、スポーツ科学の分野において、適切な視覚的フィードバックにより、身体動作の学習が効果的であることを背景としており、さらに、「指導者の身体動作」と、「学習者の身体動作」が同期再生され比較可能とすることが、反復練習の段階において重要である点に基づいている。

このようなシステムを活用することで、学習者のみで身体動作の改善ルーティンを実践可能とすることができる。学習者が実践する身体動作の改善ルーティンでは、指導者の身体動作を模倣するために、学習者の身体動作をどのように修正するか？という改善した身体動作を見出す事を行う。

そのため、改善した身体動作に向けて、分析作業が必要となる、という課題が生じている。この分析作業では、着眼点を見出す必要があるが、我々は、改善すべき着眼点を人の関節と仮定し、「指導者の身体動作」と「学習者の身体動作」を比較して、着眼点（関節）の状態の違いに着目する。そして、学習者に、これらの情報を提示することで、学習者が、改善した身体動作を言語化して表現できると考えた。

そこで、本稿では、「指導者の身体動作」と「学習者の身体動作」の着眼点（関節）の状態の違いを提示するために、「からだマップテーブル」を導入する。ここで、図1に、ブランコの乗り方による「からだマップテーブル」の例を示す。各列は、左側からブランコに乗った時の映像を等間隔に分割した際の時系列番号T（1が右端の時、8が左端の時）となる。以降は、時系列番号T毎の学習者および指導者の乗り方の画像と着眼点（関節：膝（足）、背（腰）、肘）の状態（足と肘：伸びている／曲がっている、背：寝ている／起こしている）を示している。

学習者の乗り方 (①)		指導者の乗り方 (②)		膝 (屈)	腰 (屈)	肘
1			① 学習者: 状態: 曲がっている	① 学習者: 状態: 曲がっている	① 学習者: 状態: 曲がっている	① 学習者: 状態: 曲がっている
2			② 指導者: 状態: 伸びている	② 指導者: 状態: 伸びている	② 指導者: 状態: 伸びている	② 指導者: 状態: 伸びている
3			③ 状態: 曲がっている	③ 状態: 曲がっている	③ 状態: 曲がっている	③ 状態: 曲がっている
4			④ 状態: 曲がっている	④ 状態: 曲がっている	④ 状態: 曲がっている	④ 状態: 曲がっている
5			① 状態: 伸びている	① 状態: 伸びている	① 状態: 伸びている	① 状態: 伸びている
6			② 状態: 伸びている	② 状態: 伸びている	② 状態: 伸びている	② 状態: 伸びている
7			③ 状態: 曲がっている	③ 状態: 曲がっている	③ 状態: 曲がっている	③ 状態: 曲がっている
8			④ 状態: 曲がっている	④ 状態: 曲がっている	④ 状態: 曲がっている	④ 状態: 曲がっている

図 1. 「からだマップテーブル」の例
(ブランコの乗り方: 行き)

「からだマップテーブル」を用いた改善ルーティンでは、「指導者の身体動作」と「学習者の身体動作」を比較したときの、着眼点（関節）の状態の違いを映像から抽出し、「からだマップテーブル」として提示することで、分析作業を不要とすることが可能になり先に述べた課題が解決可能になる。

4. 「からだマップテーブル」を用いた学習者自身による改善ルーティン

前章の「からだマップテーブル」を用いた学習者自身による改善ルーティンを、図 2 に示す。

- Step0) 指導者の身体動作の撮影
- Step1) 学習者の身体動作の撮影
- Step2) 映像編集
- Step3) からだマップテーブル（作成と差分強調）
- Step4) 次の身体動作（改善）検討

図 2. 「からだマップテーブル」を用いた学習者自身による改善ルーティン

本ルーティンは、Step0 から Step4 までであり、指導者および学習者の技能（タスク）実行時の身体動作映像撮影を行う Step0~1, これら映像の時系列分割処理といった映像編集を行う Step2, さらに Step3 で「からだマップテーブル」の作成と、着眼点（関節）の状態の違いを強調し、これをベースに Step4 では次の身体動作（改善）を言語化して表現し、この乗り方に基づき、Step1 に戻り学習者の身体動作を撮影して同様なルーティンを繰り返すことで、改善を積み上げる。

以下の節では、「からだマップテーブル」を作成するための手順を含め、ブランコを例に各 Step での詳細を説明する。

4.1. Step0) 指導者の身体動作の撮影

指導者が実演した際の身体動作を撮影して、映像情報として保存する。なお、Step1 での学習者の動作と比較するため、撮影時のパラメータ（機材の設置位置や方向、被写体の大きさ（カメラのズーム率）など）を記録する。

4.2. Step1) 学習者の身体動作の撮影

Step0 での撮影時のパラメータに合わせて、学習者が実演した際の身体動作を撮影し、映像情報として保存する。

4.3. Step2) 映像編集

Step0,1 で撮影した各映像情報から、実演した身体動作の開始時刻 (t_{start})、終了時刻 (t_{end}) と、その中間状態数(n)から、時系列分割した画像を取り出す。この時、中間状態の画像は、一定の時間経過毎に取り出すため、以下の時間間隔 ($t_{interval}$) で取り出すこととする。

$$t_{interval} = (t_{end} - t_{start}) / (n + 1)$$

ここで、指導者から取り出された画像を指導者画像、学習者からのものを学習者画像とする。また、取り出された画像の時系列順の番号を T とする。この時、T の最小値は 1, 最大値は開始時点と終了時点および中間状態を合計した $n+2$ となる。

以下の図 3 と図 4 に、ブランコの乗り方を例とした学習者および指導者の時系列分割画像を示す。なお、ブランコが最も右端側の状態を、乗り方の行きのタスクの開始時刻 (t_{start}) を $T=1$ とし、行きのタスクの終了時刻 (t_{end}) を最も左端側の $T=8$ とし、中間状態数 $n=6$ としている。ここで、 $n=6$ と

したのは、乗り方の行きタスクにおいて、ブランコの位置がその中央とそれぞれ左右の位置での合計3状態を把握することを基本として、この倍の密度で時系列画像での比較を行うことを考慮したためである。さらに、乗り方の戻りのタスクの開始時刻(t_start)をT=8とし、戻りのタスクの終了時刻(t_end)を、再度最も右端側となるT=15として、中間状態数は同じくn=6としている。

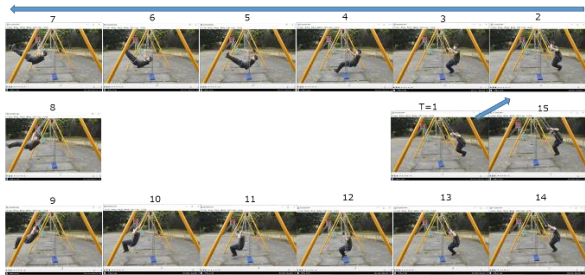


図3. 学習者の時系列分割画像

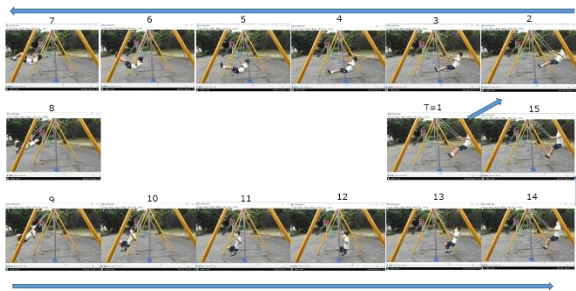


図4. 指導者の時系列分割画像

4.4. Step3) からだマップテーブル (作成と差分強調)

同じ時系列順の番号Tの指導者画像、学習者画像を比較し、異なる状態の関節(例えば、膝(足)が、指導者は伸びているが学習者は曲がっている状態)を着眼点(関節)として抽出する。なお、着眼点(関節)は、1つでも複数でも良い。また、着眼点(関節)の状態はことば(上記の例では、伸びている/曲がっている)で、その着眼点の取りうる状態として定義する。

以下の図5に、ブランコの乗り方における着眼点(関節)と状態の定義例を示す。ここで、着眼点(関節)は、人の身体の関節から、実際に学習者がブランコに乗った際に身体動作として動きを伴った関節と、指導者の時系列画像と比較して、異なる状態の関節を抽出することとしたが、今回のブランコの乗り方の例では、足、背、肘と定義した。また、それぞれの2つの状態を表現し、状態判定時の目安を

赤い字で示すように、各関節の角度で定義した。なお、各関節の角度(a~c)が対応する箇所を、図5の右に示す。

着眼点	状態1	状態2
肘	伸びている： 肘の関節(a)が 135度以上	曲がっている： 肘の関節(a)が 135度未満
背	寝ている： 腰の角度(b)が 135度以上	起きてる： 腰の角度(b)が 135度未満
足	伸びている： 膝の角度(c)が 135度以上	曲がっている： 膝の角度(c)が 135度未満

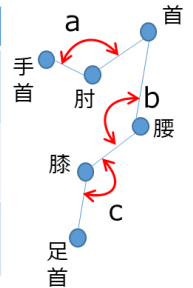


図5. ブランコの乗り方における着眼点(関節)と状態の定義例

次に、時系列順に並んだ学習者画像、指導者画像に対して、図5. ブランコの乗り方における図5の定義に従い着眼点(関節)と状態を決定し、これらを一覧化可能な「からだマップテーブル」を作成する。

ブランコの乗り方の行きタスクにおけるからだマップテーブルは図1となる。以下の図6に、戻りのタスクにおけるからだマップテーブルを示す、

	足	背	肘
9	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 起きている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている
10	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 起きている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている
11	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 起きている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている
12	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 起きている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている
13	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 起きている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている
14	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 寝ている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 伸びている
15	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 伸びている	①: 状態: 寝ている ②: 状態: 寝ている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 伸びている

図6. 「からだマップテーブル」の例 (ブランコの乗り方: 戻り)

さらに、からだマップテーブルから、同じ時系列番号Tと着眼点(関節)で、学習者と指導者で異なる状態を示す箇所を抽出する。例えば、該当箇所を認識しやすいように、からだマップテーブル上の該当箇所に色を付けること(差分強調)を行う。

	学習者の乗り方 (①)	指導者の乗り方 (②)	足	背	肘
1			①: 学習者: 状態: 曲がっている ②: 指導者: 状態: 伸びている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 寝ている	①: 学習者: 状態: 曲がっている ②: 指導者: 状態: 伸びている
2			①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 伸びている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 寝ている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 伸びている
3			①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 伸びている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 寝ている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 伸びている
4			①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 伸びている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 寝ている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 伸びている
5			①: 状態: 伸びている ②: 状態: 伸びている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 寝ている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 伸びている
6			①: 状態: 伸びている ②: 状態: 伸びている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 寝ている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 伸びている
7			①: 状態: 伸びている ②: 状態: 曲がっている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 起きている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている
8			①: 状態: 伸びている ②: 状態: 曲がっている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 起きている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている
9			①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 起きている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている
10			①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 起きている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている
11			①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 起きている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている
12			①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 起きている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている
13			①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 起きている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている
14			①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 曲がっている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 寝ている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 伸びている
15			①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 伸びている	①: 状態: 起きている ②: 状態: 寝ている	①: 状態: 曲がっている ②: 状態: 伸びている

図7. 「からだマップテーブル」の差分強調の例

4.5. Step4)改善した身体動作の検討

今回のブランコの例では、T=1~4で足、背、肘で異なる状態となっていることが分かる。また、足以外はT=5でも異なる状態となっている。この時、指導者は、肘を伸ばして背を寝かせている点や足を伸ばしている点から、「椅子に力を与える」動作を行ったと考えた。また、T=7,8付近では膝(足)の状態に違いがあった。学習者は、足を伸ばして加速を維持しているが、指導者は「次の(逆方向)の加速に備える」動作を行ったと考えられる。この考えは、戻り時のT=14,15でも同様であると考えられる。

上記から、T=1~5では、「背を寝かせて椅子に力

を加える」ようにし、T=6~8では、次の戻り加速に備えて「自然体に戻す(背を起こす)」感覚で特にT=7,8で足を曲げて、T=9~13でその状態をキープしながら、T=14,15で次の行き加速に備えて背を寝かせて特にT=15で足を伸ばすという、改善した身体動作を言語化して表現することができた。

5. 結論

身体的なスキル獲得に向けて、学習者自身による改善ルーティン実施を目的に、指導者が行っていた改善すべき着眼点(関節)に関する分析作業を学習者自身が行うために、「指導者の身体動作」と「学習者の身体動作」の着眼点(関節)の状態の違いを「からだマップテーブル」として提案し、学習者自身による改善ルーティンも実現した。

また、ブランコの乗り方を例に着眼点(関節)の状態の違い(例えば、学習者:腰が曲がり、背が起きているようになっている、指導者:腰が伸びて、背が寝ているようになっている)を提示し、改善した身体動作を「背を寝かせて椅子に力を加える」、「次の(逆方向)の加速に備える」として、言語化して表現できた。

今後は、ブランコ以外の実践例や実践人数増により事例を増やすとともに、学習者が行った着眼点(関節)の候補および比較による着眼点の抽出作業をツール化するため、指導者と学習者の動作映像や時系列画像から各関節角度等の比較により自動抽出する手法について検討する予定である。

参考文献

- [1] 三上弾, 松本鮎美, 門田浩二, 川村春美, 小島明: 動作学習のための遅延同期ビデオフィードバックシステム, 情報処理学会トランザクション: コンシューマ・デバイス&システム, Vol.4, No.1, pp.1-10, 2014
- [2] NTT docomo. Golf ai. <https://golfai.jp/>.
- [3] 大野寛季, 林佑樹, 瀬田和久: 一人称と三人称視点映像に基づく「からだメタ認知」の活性化支援システム, 2017春JSiSE学生研究発表会, pp.91-92, 2017
- [4] 石垣翔汰, 安部恵一: 2次元骨格情報を用いたバスケットシュートの姿勢解析評価, 情報処理学会第84回全国大会講演論文集2022(1), pp.263-264, 2022
- [5] Zhe Cao and Tomas Simon and Shih-En Wei and Yaser Sheikh: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. CVPR, 2017
- [6] 原科堯宗, 高丸尚教: 二次元姿勢情報に基づく速度, 加速度, 躍度を利用した動作自動教示システム, 情

報処理学会インタラクション 2022 論文集 , pp. 796-801, 2022

- [7] 岡田健嗣, 脇坂崇平, 高原慧一, 荒川陸, 稲見昌彦: ボールジャグリング練習映像に基づいた教示推薦システムの構築と応用, 第35回身体知研究会, 2021