

空手の突きを対象とした身体動作の客体化に基づくスキル学習支援システムの開発

Developing a Skill Acquisition Support System through Objectification of Karate Punching Movements

棕本樹^{1*} 山元 翔^{1, 2}
Izuki MUKUMOTO¹ Sho YAMAMOTO^{1, 2}

¹ 近畿大学 情報学部

¹ Faculty of Informatics, Kindai University

² 近畿大学 情報学研究所

² Cyber Informatics Research Institute, Kindai University

Abstract: This study reports on the development of a skill learning support system for objectification-based practice of karate punching techniques, as well as its evaluation by an expert practitioner. In skill learning, learners are typically evaluated based on their ability to successfully perform the target action. Consequently, many existing studies focus on correcting discrepancies between learners and experts, aiming to reduce deviations in learners' movements. In contrast, this study explores whether explicitly recognizing the movement before physically performing it can lead to more effective imitation of expert techniques. We present the development of the proposed system and preliminary results from an expert-based evaluation.

1 はじめに

スキル学習は、学習者がその結果を言語化できるかどうかではなく、学習者がその行為をできるようになったかどうかで評価される学習方法である [1]。それゆえに、動作が適切に達成できているか重要であることは言うまでもない。そのため、様々な研究で学習者の動作のズレを推定し、目標となる身体動作との違いをユーザに指摘することで、動作を洗練させるような学習支援システムが多く提案されている [2][3][4][5][6]。

その一方で、この行為ができるようになるためには、対象を認知し、その上でその認知に沿って練習し、その果てに自動化に至るという過程を経ることも指摘されている [7]。これに関連して、運動動作の適切な実施には、運動イメージの想起能力の重要性も指摘されている [8]。これらのことを踏まえ筆者らは、弓道を対象として、身体動作のイメージをまずデッサン人形を用いて外化し、その後自身が身体動作を行うことで、自身の動作のズレをより認識できるのではないかという演習方法を提案した [9]。この結果、身体動作のズレを指摘するだけでなく、事前に学習者に動作を外化さ

せることで、有意に演習時間が減少するという傾向がみられた。しかしこの演習は弓道の初学者に演習を行なってもらうものであったため、熟練者の視点から見て、有用な学習になっているかどうかの判断はつけられていない。そこで本研究では、空手の突きを対象を変更し、熟練者へのインタビューを試みた。本稿ではこのシステムの設計指針、およびこの実験結果について報告する。

以下、第二章では関連研究、第三章では提案演習と開発したシステム、そして第四章で簡易的な検証結果について、先行研究と比較して説明し、五章でまとめる。

2 関連研究

2.1 本研究で対象とするスキル学習プロセス

本研究では、Fitts の提案している三段階モデルを参照している [7]。このモデルでは、初期の認知段階、中期の連合段階、後期の自動化段階に運動の習熟段階を分類している。初期の認知段階では、目標とする運動課題を理解するため、何をするかについて意識する段階とされている。この時点では動作についてのパフォーマンスは良いとは言えないが、続く中期の連合段階に

*連絡先：

〒 577-8502 大阪府東大阪市小若江 3-4-1
izuki.mukumoto@kindai.ac.jp

において、この動作を修正しながら、正確性や円滑性を上げていくとされている。そして後期には自動化段階となり、ほぼ意識をせずに円滑に動作をこなせる段階へと至る。筆者らはこのモデルの、習熟においては運動課題を理解することも重要であるという点に着目した。

次に堀内らは、着眼・傾聴・融合という軸で、知覚が持つ性質に基づいてスキルの様相が定義されている [11]。着眼とは、運動の動作者の身体・スキルを何らかの明確な視点で、分析的に思考する状態であるとされている。次に傾聴は、動作者が身体の声に耳を傾ける、自らの体感に意識を向ける状態とされている。そして融合とは、動作者の身体と意識が「どろどろ」に一体化した状態で、スキルを実践しているという自覚されない状態である。この研究では、これらの要素は個別のものではなく、グラデーションとして表現されているが、客体化の方が最初の段階として現れており、徐々に傾聴へと向かっていることを提示している。

これらを踏まえ、本研究では、学習者自身が身体動作を認識し、分析的に見て動作を洗練する活動を意識化させることが初歩の段階で重要であると考え、このプロセスを支援することを目的としている。

2.2 スキル学習支援システムと先行研究

スキルの学習支援システムには、その身体性を評価するために、カメラ等を用いて正しい動作を実現できたかどうかを検証するものが多い。例えば星野らは、弓道の射法八節を対象として、学習者が kinect の前に立って構えを行い、ズレがあれば、そのズレを矢印によって矯正するというシステムを開発している [2]。佃らも同様に射法八節を対象として、kinect で取得した学習者の動作がどのようにずれているかをテキストとユーザの構えによるフィードバックにより確認させるというシステムを提案している [3]。他にも、この計測の利便性を高めるために、どのような位置からでも計測可能なシステムについての研究も提案されている [4]。なお、このシステムはスコアによって正しい姿勢を評価している。

また、技術の発展位より、AR/VR を用いたスキルの学習支援システムも開発されている。例えば ikeda らは、ゴルフのスウィングを対象として、自身のスウィングがプロのスウィングに対してどのようにずれているかを、実寸で確認できるシステムを実現している [5]。伴地らも、熟達者の身体動作を迫体験することを目的として、VR を用いて熟達者の視線や動作等を体験できるようなシステムが提案されている [6]。

このように、スキル学習は身体動作を伴う学習であり、適切な身体動作を実現することが目的であることもあり、このようなシステムはプロと同様の動作を実

現することを目的としてそのズレをシステムにより評価することを中心に実装されている。一方で、運動そのものではなく、運動イメージが運動のパフォーマンスを向上させることも知られている [8]。

先行研究では、弓道の射法八節を対象として、運動動作を教本により確認させ、デッサン人形により、それを適切に再現させることを行なっている [9]。その後実際に学習者に身体動作を行わせる。この結果、デッサン人形を使わない場合と比べてスキル達成までの時間が削減できる可能性が示唆されている。この作業自体は、前節で述べたような、学習者が自身の行うべき動作をデッサン人形を通じて分析的に捉え、洗練する過程を取り入れていると言える。しかし、この研究では初学者を対象に検証を行ったのみであるため、対象は空手の突きとなるが、熟練者への評価を行うことを本研究の目的とする。

3 提案手法

3.1 演習設計

先行研究で提案した演習を、2.1 節の内容に基づいて解釈する。先行研究 [9] で提案した演習の手続きは、(0) 目標とする動作を把握する。(1) 目標とする動作について、デッサン人形によりその動作を再現する。(2) デッサン人形による動作表現が正しいかどうかをシステムが診断する。(3) デッサン人形で形作った動作をイメージしながら、自身も同様の動作を表現する。(4) 自身の動作表現が正しいかどうかをシステムが診断する。このサイクルを、動作のズレがなくなるまでを繰り返す。また、先行研究では射法八節を扱ったが、この演習はあくまで8つの型を把握するための支援となっており、型から型への移動といったところは扱っていない。

次に、この演習の設計について説明する (図 1)。まず、学習者はデッサン人形を用いることで、自身の取るべき、求められている身体動作を頭の外に外化する。これにより、Fitts の三段階モデルにおける初期の認知段階に相当する、目標とする運動課題を客観的に把握するという行為を行わせる。これは着眼の段階にも関連しており、運動の動作者 (学習者) は身体・スキルをデッサン人形の体という視点で、分析的に思考する。この分析については、初学者であれば誤ることもあるので、学習者の身体動作時に用いるのと同じ診断システムを用いて、動作のズレについて指摘する。これを行うことで、学習者は自身が取るべき運動の動作を、自ら形作るという形式で、頭の中に描くことができると考えた。また、この時の動作を形作る方法は、人と同じ関節を再現できるデッサン人形であり、これによって動作を形作ることで、基本的な形状を三次元的かつ

実際の人間の動作と対応づけて理解できる粒度にしている。

この段階を終えると、次に学習者は、このイメージを前提として、自らその動作を行う。システムはカメラを用いてフィードバックを行うため、学習者は事前にデッサン人形で形づくった動作目標を、自らの動作結果の映像に反映することで、正しい動作が行えているかの分析を行う。つまり、頭の中だけでイメージするのではなく、そのイメージをデッサン人形によって外部に明確に取り出し、詳細化する。その上で、フィードバック、つまり指摘を受けつつ、学習者はそのイメージした動作を模倣していく。

これは認知的徒弟制度における外化 [10] に基づくプロセスでもあり、学習者が一見して把握していないであろう動作のプロセスを詳細に頭の中に描かせ、いわゆる見取り稽古をより効果的に行わせる意図がある。これは着眼においては、デッサン人形で事前に把握した動作を分析的に捉えることで、着眼の段階に相当する活動が行えていると考えている。つまり、事前にデッサン人形により、自身の動作を確認する際と同じ形状で自身の振る舞いを捉えるようにできることで、学習者が自身の振る舞いを、自分自身で認識・修正しやすくなるのではないかという考えである。

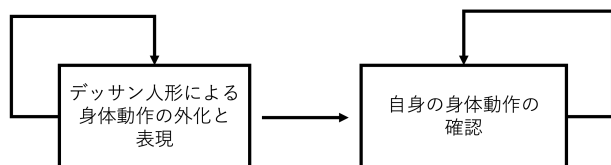


図 1: 演習の模式図。

3.2 空手の突きへの拡張

前節で述べたシステムの拡張について述べる。本研究では専門家にとって演習が有用であるかどうかを検討するため、空手の突きを対象として、システムを拡張した。対象は変更となっているが、あくまで前節の演習プロセスに重きを置いているため、評価そのものにおいては問題ないと考えた。

次に、システムは運動動作においてポイントとなる方法を抽出することで、学習者がデッサン人形によって客観的に把握すべき情報をシステム内に保持するようにしている。よって、本研究においては空手の教本を参照することで、適切なポイントの情報をシステムに保持させた。このリストは表 1 に提示する。状態がそれぞれのステップに相当し、一つ一つで図 1 のサイクルを繰り返す。また、第一著者は空手の経験者であるため、その経験に基づいてフィードバック内容は各

部位に置いて一つの単位とみなせる単位で作成している。例えば、足の引きの動作については、腰の幅の倍引くといったような動作を、単一動作としてフィードバックするようにしている。

この表に基づいて、デッサン人形と実際の動作で練習を行う。練習については図 2 のような形式で行い、練習ボタンを押すことで、5 秒のカウントダウンが始まり、0 になったタイミングで適切な型が行えていれば良い。診断ボタンは存在するが、こちらはデッサン人形を用いた際の診断をもう一度見直したい時に利用する。また、学習者はお手本はいつでも確認することができる。

診断の結果、もし動作が間違っていれば、システムは表 1 に基づいて診断結果を返す。学習者に返されるメッセージは、図 1 と同様である。この結果が正しければ、学習者は実際の身体動作のプロセスに移る。なお、空手においては、学習者には「構えの状態」「突きの状態」「戻しの状態」の 3 つを取り扱っている。

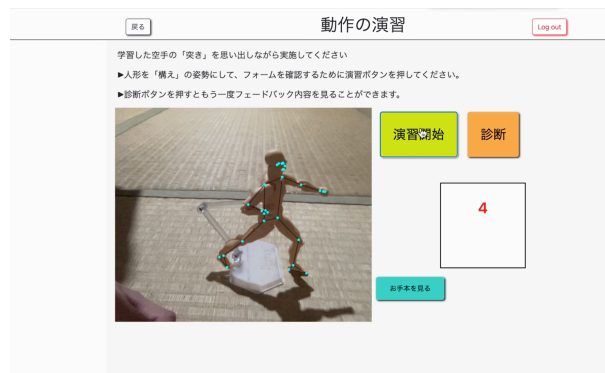


図 2: システムの UI (人形を用いた場合)。

4 熟達者による簡易評価

4.1 評価手順

システムについて、熟達者 2 名を対象にインタビューによる評価を行った。インタビューは別日に行なっており、別々にご意見を伺っている。熟練者 A は複数の流派の段位を保持しており、空手歴は 32 年、道場の指導も 16 年行っている。熟練者 B は空手歴は 11 年、指導は 3 年である。

手順は、まず解説をしながら、システムの一連の学習方法、操作方法について説明を行った。その後、システムについて、本演習で追加しているデッサン人形の意義、システム全体の有用性や位置付けについてインタビューを行った。

表 1: 部位ごとの診断.

状態	部位	フィードバック
構え	足	足の横腰を腰の横幅ぐらい横に広げましょう スネの長さの 1.5 倍, 足を後ろに引きましょう 後ろ足の膝が曲がっています 前の足の膝がつま先にくるまで曲げましょう
	頭部	相手の首に視点を置いて, 顔を胴体に対して正面を向きましょう
	胴体	背筋を真っ直ぐにしましょう 体が横に振れているので正面にしましょう
	腕	引き手が後ろになっています. 拳を肋骨の横にしましょう 引き手が前になっています. 拳を肋骨の横にしましょう 引き手が下がっています. 拳を肋骨の横にしましょう 引き手が前になっています. 拳を肋骨の横にしましょう 引き手が上がっています. 拳を肋骨の横にしましょう 前の手の肘が曲がっています. 真っ直ぐにしましょう 前の手をみぞおちの正面に来るようにしましょう
突いた手が伸び切っている状態	足	腰が入ってないので, 腰を回転させましょう 足の横腰を腰の横幅ぐらい横に広げましょう スネの長さの 1.5 倍, 足を後ろに引きましょう 後ろ足の膝が曲がっています 前の足の膝がつま先にくるまで曲げましょう
	頭部	相手の首に視点を置いて, 顔を胴体に対して正面を向きましょう
	胴体	背筋を真っ直ぐにしましょう
	腕	引き手が後ろになっています. 拳を肋骨の横にしましょう 引き手が前になっています. 拳を肋骨の横にしましょう 引いた手が下がっています. もう少し上にしましょう 引き手が前になっています. 拳を肋骨の横にしましょう 引いた手が上がっています. もう少し下にしましょう 前の手の肘が曲がっています. 真っ直ぐにしましょう 前の手をみぞおちの正面に来るようにしましょう
戻し		構えと同様

4.2 結果と考察

インタビューの結果とその考察について, デッサン人形の意義, システム全体の有用性や位置付けの 2 つに分けて述べる. まずデッサン人形の意義については, 熟練者 A からは「正しい突きの絵を表示し, この通り動作を行い, その上でテストとして動作を行うならできる」という指摘が得られた. 熟練者 B からは, 「自分の考えを形にすることができる」という点を評価してもらっており, 「考えを形にするのは大体おおよそでしか無理」ということと対比してコメントしていただいている.

このことを踏まえると, 熟練者 A については, 関連研究で紹介したような一般的な演習支援システムと同様の診断機能の評価にとどまってしまった. 一方で, 熟練者 B からはこの仕組みについてポジティブな評価をいただくことができた. 考えられることとして, 今回

の空手の突きは, 射法八節と比べると, 型の数は少なく, 複雑ではないものになっている. よって, デッサン人形によって取りうるべき動作を客体化する意義は, 射法八節に比べて薄いと捉えられやすいことから, 評価にばらつきが出た可能性がある.

また, 「最初に入門した時にこれがあれば多分早い」「家で使える」「補助的に使う」「道場でやったことの復習として使う」「人がいたらやりづらい子もいるので家での自主練で緊張せずにできる」といった意見も得られ, 個別に学習するシステムとしては有用な位置付けとして認められている. また, 先行研究で確認できた, 習得速度の向上についても言及はされている. 加えて, いずれも蹴りなど他の技についても充実した方が良い点は指摘いただいている.

また, システムは連続した動きや, ユーザに合わせた細かな指導まで実現できているわけではないので, 当然初歩の段階で扱い, 最終的には指導者による指導が

望ましい。この点については、「最後はやっぱり生で教えてもらうのが当たり前だけど、最初の知識というか自分の体の動きの悪いところを勉強するのはいい」「先生はその人に応じて指導ができるが、アプリは一律」といったような指摘もあり、システムの位置付けとしては導入・補助が望ましいことや、個別指導の必要性なども確認できた。

フィードバックやUIについては、文字の羅列だとわかりづらいことや、表現自体が難しいフィードバックもあったこと、また、突きについて一つ一つ停めて行うのはスキルとしても行いづらいという指摘もあったため、この点についても改良が必要であると言える。

結果から、システムにおいて提案した有効性については意見は割れたが、デッサン人形による客体化が、実現すべき動作を認知する上で1名の評価では、システムにおいて提案した有効性については確認することができなかった。しかし、システムのアプローチが新規なものであったことから、デッサン人形を利用する意義を理解いただけるほど適切な説明が行えていなかった問題もあった。一方で、初学者向けに個別学習支援として活用する意義は、様々な関連研究同様に認められており、今後はシステムとしても、自身が行うべきスキルを客観視することの意義をわかるようなUIにするなどの課題が得られたと考えている。

5 まとめと今後の課題

本研究では、空手の突きを対象として、デッサン人形により学習者が自身が行うべき身体動作を分析的に認識することで、その後の自身の動作やその修正のパフォーマンスの向上に繋げる学習支援システムについて、熟練者の評価を検証した。

熟練者にはシステムを触ってもらい、インタビューによる検証を行った。結果として、システムで提案している演習が有用である可能性は示されたが、対応できる技の種類やUIの不適切さなどの課題も残った。また、空手の突きの動作が射法八節に比べて複雑ではないことなど、スキル間での有用性の違いや、システムのUIが想定している演習に対してまだ不十分である可能性も確認できた。

今後はシステムの演習の個別最適化や、対応できる技の種類の増加、UIの洗練を行い、より深い検証に繋げることを予定している。

謝辞

本研究はJSPS科研費JP23K02749の助成を受けたものです。また、本研究にご協力いただいたA空手道場の指導者の方々に、改めまして感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Diedrichsen, J., Kornysheva, K.: Learning Between Selection and Execution, *Trends in cognitive sciences*, Vol. 19, No. 4, pp. 227–233 (2015)
- [2] 星野直紀, 小宮山撰, 盛川浩志: 射形のモーションデータを用いた弓道訓練システムの実装と評価, 第79回情報処理学会全国大会講演論文集, pp. 287–288 (2017)
- [3] 佃吉央, 小枝正直: 弓道における射法八節姿勢提示システムの提案と評価, 2018年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, pp. G-101 (2017)
- [4] 道脇拓真, 梅田和昇: 深層学習による三次元姿勢推定を用いたアーチェリーの射型教示システム, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2023, pp. 1A2-F07 (2023)
- [5] Ikeda, A., Hwang, D. H., Koike, H., Bruder, G., Yoshimoto, S., Cobb, S.: AR based Self-sports Learning System using Decayed Dynamic Time-Warping Algorithm, *ICAT-EGVE*, pp. 171–174 (2018)
- [6] 伴地芳啓, 植村大志, 竹永羽, 平尾悠太郎, 河合隆史: アスリートへの憑依体験を意図したVRコンテンツの試作と評価, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 26, No. 3, pp. 177–186 (2021)
- [7] Taylor, J. A., Ivry, R. B.: The role of strategies in motor learning, *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 1251, No. 1, pp. 1–12 (2012)
- [8] 水口暢章, 彼末一之: 運動イメージと運動パフォーマンス, 計測と制御, Vol. 56, No. 8, pp. 568–572 (2017)
- [9] 山元翔, 酒井良教, 樺山大樹, 窪木啓太: 客観的な動作組み立てを通じたスキル学習支援システムの開発-弓道の射法八節を対象として, 人工知能学会研究会資料 第90回 先進的学習科学と工学研究会, pp. 21–26 (2020)
- [10] Collins, A., Brown, J. S., Newman, S. E.: Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics, *In Knowing, learning, and instructions*, pp. 453–494 (2012)
- [11] 堀内隆仁, 諏訪正樹: 身体スキルと向き合い続ける-拡張される身体意識, 人工知能学会第二種研究会資料 第23回 身体知研究会, pp. SIG-SKL-23-07 (2017)