

運動課題における主観的規範の違いが 剣道の素振り動作にもたらす変化

荻野 勇人[†] 阪口 豊[†]

[†] 電気通信大学大学院情報理工学研究科・技能情報学研究ステーション
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

E-mail: † {ogino-hayato1710127, yutaka.sakaguchi}@uec.ac.jp

あらまし 身体技能指導の現場では、優れた身体の動かし方を導くことを目的として、学習者に対して身体感覚を手がかりとした種々の主観的規範を教示することがある。本研究では、剣道の素振り動作においてこのような主観的規範が身体動作に与える影響を実験的に調べた。具体的には、有段者や未経験者を含む5名の被験者を対象として素振りに関する異なる教示を与えたうえで、素振り動作中の竹刀や上肢の動きをモーションキャプチャ装置で計測し、その特性を分析した。その結果、有段者の運動軌道には特徴的な特性があること、運動軌道の特性が教示内容に依存して変化することが明らかになった。

キーワード 身体技能, 剣道, 仮想的身体知覚, 教示, 運動軌道

Effects of subjective task criteria on body motion in Kendo practice swing

Yuto OGINO[†] and Yutaka SAKAGUCHI[†]

[†] Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications
1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo, 182-8585 Japan

E-mail: † {ogino-hayato1710127, yutaka.sakaguchi}@uec.ac.jp

Abstract In teaching motor skills, instructors often provide instructions (or subjective criteria) related to body perception in order to guide desirable body movement. In the present study, we investigated the effect of such subjective criteria on the body movement in practice swing of Kendo (Japanese fencing). Specifically, we measured the movements of a bamboo sword and arms of five participants (including a rank holder and novices) using a motion capture system when they swung the sword according to several different instructions. We found that the motion trajectory of the rank holder showed specific features and that movement trajectories of participants changed dependent on the given instructions.

Keywords Motor skill, Kendo, Imaginary body perception, Task instruction, Motion trajectory

1. はじめに

運動技能の習得においては自己の身体に関する感覚（身体知覚）が本質的に重要である[1-3]。一方、身体知覚は視知覚、聴知覚と異なり異なる個人のあいだで共有することが難しい。このため、身体知覚に関わる技能指導のコミュニケーションは通常言語を介して行われ、学習者は指導者から与えられた教示内容を自分自身の身体知覚もしくは規範に翻訳し、それを手がかりとして試行錯誤を行うことになる。したがって、技能指導において教示の言語表現がもつ意味は大きい。

指導者が学習者に与える教示にはさまざまな種類があるが、その中で「まるで○○であるかのように感じながら身体を動かしなさい」といったように、現実には生じる現象や現実に知覚できる内容とは異なる手がかりや目標を与えることがある。例えば、クラシックバレエ教室では、生徒に対して「まるで胸が天井からロープで吊り下げられたかのような感覚で立ちなさい」と

といった教示がなされる。このような教示は、バレエにおける望ましい姿勢を導くことを目的としていると考えられるが、「背を伸ばしなさい」「胸をはりなさい」といったように身体知覚を直接参照するような指示を与えるのではなく、現実と異なる仮想的な状態を想像させることで結果的に望ましい姿勢に導こうとしている点に特徴がある。このように、身体の動かし方や感じ方を直接的に指示しない教示方法は経験的に効果的であることが多く、技能指導の場面でしばしば用いられている。筆者らはこのような教示方法を「仮想的身体知覚に基づく教示」と呼び、このような教示が身体運動に与える効果について実験的に検討してきた[4,5]。本稿で報告する実験もまた、このような研究の一環として実施したものである。

運動技能の遂行や習得に関わる身体知覚への注意の働きに関連して「外的焦点」「内的焦点」という観点が指摘されている[6,7]。外的焦点 (external focus) とは動作が及ぼす身体外部の環境に対して意識を向けるこ

とであるのに対し、内的焦点 (internal focus) とは動作を行う身体そのものに注意を向けることである。Wulfらによる一連の研究[6,7]により、幾多の課題において外的焦点を導く教示が内的焦点を導く教示よりも運動パフォーマンス、運動学習のいずれにおいても優れた効果をもたらすことが示されている。

このように、技能指導における指導者の教示内容は学習者の認知プロセスにより主観的な規範や注意の向け方に翻訳され、それが身体運動の遂行や学習に影響を与えるが、認知や注意の働きが運動制御プロセスに与える影響やそのメカニズムには不明な点が多い。

本研究では、技能指導における教示 (さらにはそこから導かれる主観的規範) の違いが運動遂行に与える影響を明らかにすることを目的として、剣道における竹刀の素振り動作を対象として実験的に検討した。剣道の試合の中で素振りと同じ動作をする機会は多くないが、素振りは剣道を学ぶ者にとって最も基本的な練習であり、良い素振りの習得は学習者にとって重要な課題である。しかし、どのように竹刀を振れば良い素振りになるかを学習者に伝えることは難しく、そのため指導の現場ではさまざまな教示が用いられている。本研究では、習熟者と未習熟者の素振り動作はどのように違うか、また、異なる教示によって素振り動作がどのように変化するかをモーションキャプチャ装置によって計測・分析した。

以下、2章において剣道における望ましい素振りとその指導法について概観したのち、3章で実験方法、4章で実験結果を述べ、5章で考察と今後の課題について述べる。

2. 剣道における素振りとその指導

剣道における素振りは、竹刀操作の最も基本となるもので、「中段の構えから手の内 (注: 手の握り方や感覚) を変えないように肩関節を中心に大きく振りかぶり、頭上で止めることなく一拍子で振り下ろす動作」[8]である。この説明からは、

- ・手の握り方を一定に保つこと。
- ・振り上げ・振り下ろしに肩関節を大きく使うこと。
- ・頭上で止めずに一拍子で振り下ろすこと。

が素振りのポイントであることが読み取れる。しかしその一方で、「良い素振り」を言い表す具体的な指標はこれ以外にはなく、素振りの良し悪しは指導者が学習者の動きをみてその印象を言語化し伝えるのが通常である。そのような言語表現の例として「振りが鋭い」「剣先が走っている」という言葉がある (打突に関して「冴えのある打突」といった表現もある)。これらの言葉はそれぞれ「振りが速い」「竹刀がなめらかに伸びるように動いている」ことを意味する表現であるが、これが物理的にどのような動きであるか、どのような

身体運動から生み出されるのかは明らかでない。素振りの良し悪しの定量的評価として加速度センサから得られる加速度・躍度を用いる研究例[9]はあるものの、これら二つの指標のみをもって上記の素振りのポイントが達成できているかどうかを判断することは困難である。

このほか、素振りの指導においてしばしば言及される良い素振りの手がかりとして

- ・肘関節は構えの角度を維持しまま振り上げ、振り下ろしと同時に伸ばす。
- ・右腕を伸ばし切らずある程度の曲がりを保つ。
- ・左拳や竹刀先端 (剣先) が体の中心線から外れないようにする。
- ・振り下ろしたときの左拳を鳩尾の位置に保つ。
- ・左手の小指を半掛けにして竹刀を握る [10]。
- ・竹刀の角度を 45 度にして構える [11]。

が挙げられる。これらは良い素振りのための基本的注意点を示したものと見えるが、素振りの最中に感覚として捉えられるものばかりではない (例えば、剣先が中心線を通っているかどうかは自分ではわからない)。また、このような個別的・局所的な教示は必ずしも素振り動作全体に対して良い効果をもたらすとは限らない。このため、身体感覚を手がかりとした教示として次のような表現が用いられることがある。

- ・肩、肘、手首の順番で関節を回転させるような感覚で振る (注: むちのように腕を振ることを意味していると推察できる)。
- ・右腕・右手の力を抜いて振る (注: 利き手が右手のときに右手に力が入りやすいための注意である)。
- ・竹刀を軽い棒だと思って振る。
- ・あたかも竹刀の先端についている物を遠くに飛ばすような感覚で振る (実際にはなにもついていないが、そのような状況を想像して竹刀を振る)。

これらの教示のうち、前者 2 点は学習者の注意を身体内に向ける教示であるから、上述の「内的焦点」の状況に相当する。また、後者の 2 点は現実とは異なる状況を想定した教示であるから「仮想的身体感覚に基づく教示」であるといえる。

3. 実験方法

3.1. 実験装置と被験者

本実験は電気通信大学の研究室において、モーションキャプチャ装置 (Optitrack 13 赤外線カメラ 7 台、サンプリング周波数 240Hz) を用いて行った。赤外線反射マーカは、竹刀の先端 (剣先)、中結および鏢元、および、被験者の頭部 (ヘッドバンド 4 か所)、体幹 (胸骨頭)、頸椎 (C7)、上肢 (肩峰、外側上顆、尺骨茎状突起) の計 16 か所に貼付した。

被験者は男性 5 名 (著者 2 名を含む) であり、この

うち有段者が1名、高校時代に剣道部に所属していた経験者が1名、未経験者3名（うち1名は中学時代に授業で多少の経験あり）であった、本実験は、電気通信大学の「ヒトを対象とする実験に関する倫理審査委員会」の承認（承認番号18037-2）を受けており、また、すべての被験者から実験参加同意書をもらい実施した。

3.2. 課題と条件

課題は床に跪いた状態で（運足なしで）竹刀を素振りすることである。素振りは、電子メトロノーム音にあわせて1.5秒に1回の周期で少なくとも20回ずつ繰り返して行った。課題の遂行にあたり、以下の5種類の教示を与えた（教示条件）。

- (A) 特に指示を与えない（統制条件）。
- (B) 肩、肘、手首の順番で回転させるようにする。
- (C) 右腕の力を抜いて振る。
- (D) 竹刀を軽い棒であるかのように思って振る。
- (E) 竹刀の先端についている物体を遠くに飛ばすようにして振る。

3.3. 手続き

剣道の未経験者に対しては、まず竹刀の握り方を含めて素振りの方法を簡単に説明した。モーションキャプチャのための反射マーカを装着したのち、前項で列挙した5種類の教示にしたがって素振り動作を行ってもらった。試行の順序はすべての被験者で共通して上記のAからEの順とした。

3.4. データ解析

取得した身体運動データは欠損値の補間などの前処理を行ったのち、カットオフ周波数20 Hzの4次Butterworthフィルタで平滑化処理を加えた。続いて、剣先の速度情報に基づいてデータを試行単位に切り出した。切り出し処理の結果、解析対象となった試行数は被験者や条件ごとに異なっていたが、最低でも13試行分のデータが取得できた。

4. 実験結果と考察

4.1. 竹刀および身体の運動軌道

竹刀の動きの被験者間・条件間の違いを概観するため、図1に剣先（黒線）と鍔元（灰線）の水平面内経路（この図は左右方向と前後方向のスケールが異なることに注意）、図2に剣先の接線方向速度波形を示す。経路の図の原点は左右の肩峰の midpoint とした。いずれの図も紙面の都合で3条件3名分のみ示しており、上段より順に有段者S1、経験者S2、未経験者S3、左列より順に教示条件A、B、Eの結果である。この図に示さない未経験者2名のデータは試行間のばらつきが大きかったため、以下の議論は上記3名を中心に行う。

図1からわかるように、

- ① 剣先の水平面内経路は、有段者S1ではほぼ直線的（やや左側に湾曲）、経験者S2では左側に湾曲する

- 傾向があるのに対し未経験者S3では右側に湾曲している。この特性は教示条件によって変わらない。
- ② 鍔元の水平面内経路は有段者S1、経験者S2では剣先の経路とほぼ重複している（そのため、紙面の図では両者が判別しにくい）が、未経験者S3では剣先よりも左にずれている（剣先が右にずれている）。
- ③ 速度波形は、有段者S1、経験者S2の立ち上がりが急激（上に凸）であるのに対し、未経験者S3は緩やか（下に凸）である。
- ④ 剣先速度は教示に依存して変化する。特に、条件Eでは明らかに速度が大きい。

このように、この図から被験者の技能レベルや教示に依存して竹刀の軌道が変化することが確認できる。

①、②に関して、2章で剣先と左拳が正中線から離れないことが良い素振りの特徴であることを述べたが、有段者の素振りはまさにこの要件を満たしているといえる。逆に、未経験者では両者の軌道が一致せず剣先

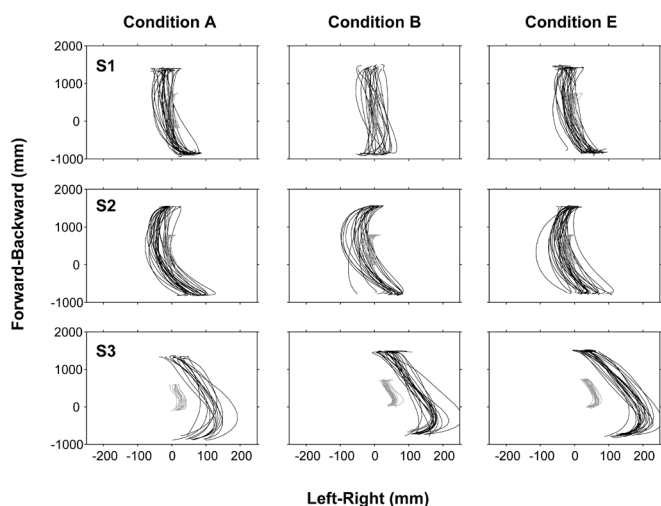


図1 剣先・鍔元の経路

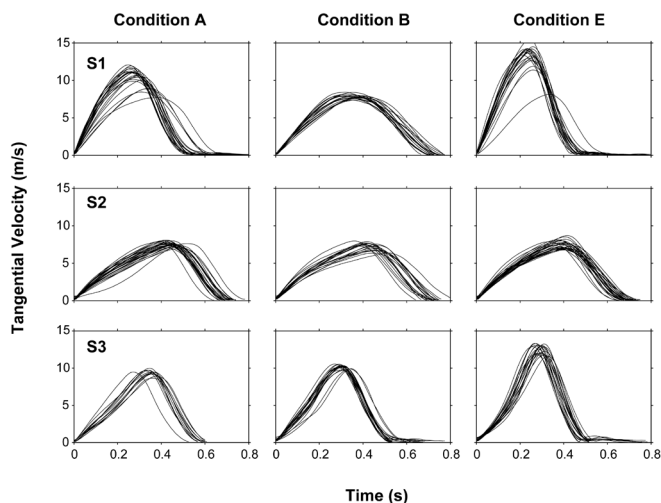


図2 剣先の接線方向速度の時間変化

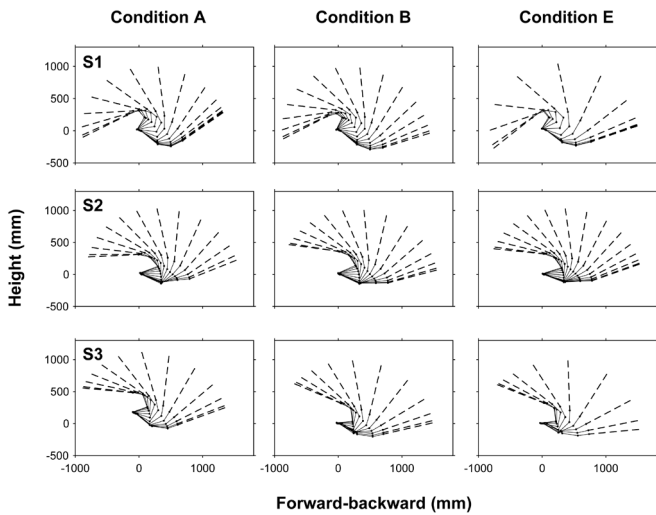


図 3 腕と竹刀の姿勢

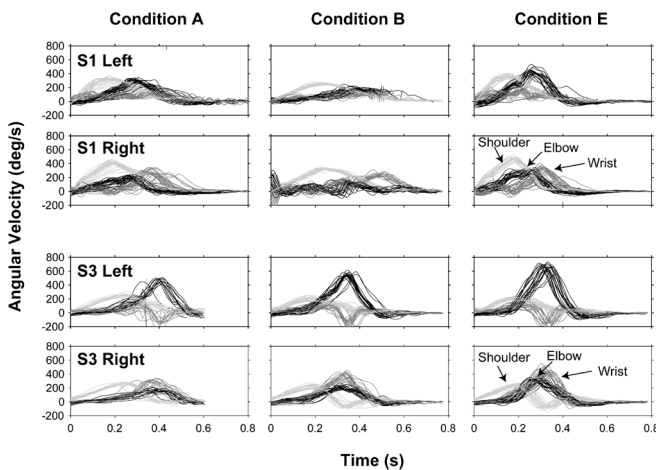


図 4 腕の各関節の伸展速度

が右方向にぶれていた。また、この特性はいずれの教示条件でも共通していたことから、本研究で用いた教示には（少なくともこの被験者に対しては）この問題を改善する効果がなかったといえる。

③に関連して、加速度波形（本稿には図なし）を見ると有段者の剣先速度は振りはじめから一様に減少しており、有段者が「頭上で止めずに一拍子で振り下している」ことが裏付けられた。

図 3 は 3 名の被験者の教示条件 A（統制条件）における右腕と竹刀の 50 ミリ秒ごとの姿勢変化を stick figure として表したものである（肩峰、外側上顆、尺骨茎状突起、齔元、剣先を結んだもので、齔元と剣先の間が点線で表示されている）。この図から、

- ①有段者 S1 は振りかぶり時の肩関節の屈曲が大きく、振り下ろし中の肩関節の回転量が大きいこと、
- ②有段者 S1 では振り下ろしたときの竹刀の傾きが大きい（剣先の位置が高く保たれている）こと、

が読み取れる。①は 2 章で述べた良い素振りの条件である「肩関節を大きく使うこと」に対応している。②は 2 章で述べた「竹刀を 45 度に傾きで構えること」に対応するといえるが、剣道の基本は面を打つことにあり、有段者は素振りにおいても面を打ったときの竹刀の向きに近い姿勢を維持しているためと考えられる。

図 4 は被験者 S1, S3 の両腕の肩関節（薄い灰線）、肘関節（黒線）、手関節（濃い灰線）の角速度変化を重ねて表したものである。上段より順に有段者 S1 の左腕、右腕、未経験者 S3 の左腕、右腕、左列より順に教示条件 A, B, E の結果である。正確には、肩関節角度は「肩峰と外側上顆を結んだ線分」と鉛直線のなす角、肘関節角度は「肩峰と外側上顆を結んだ線分」と「外側上顆と尺骨茎状突起を結んだ線分」のなす角度、手関節角度は「外側上顆と尺骨茎状突起を結んだ線分」と「竹刀の先端と齔元を結んだ線分」のなす角度により求めている。この図から、

- ①有段者 S1 はいずれの条件でも左右の肩関節の動きがほぼ一致しているのに対し、未経験者 S3 では左右のあいだに違いが見られること。
- ②有段者 S1 ではすべての条件で関節角速度が正に保たれているのに対し、未経験者 S3 では一部の条件で関節角速度が負になる（つまり逆方向に回転している）局面があること。
- ③有段者 S1 の右腕はすべての条件で肩関節、肘関節、手関節の順で角速度がピークを迎えるのに対し、未経験者では、条件 E を除いてそのようなピーク順序の関係が見られないこと

が読み取れる。

②に関して、有段者 S1 の関節の動きに逆回転がないことは、有段者の動きに無駄がないことを示すとともにそのような動きが「動作の滑らかさ」を印象づける理由となっていることが推察できる。③に関して、有段者 S1 において角速度のピーク時刻が肩関節、肘関節、手関節の順で生じたことは、条件 B で与えた「肩、肘、手首の順に回すように」という内容が物理的に実現されていることを示している。しかし、このような「むちのような腕の動き」は、それを明示的に指示した条件 B で最も不明瞭であり、むしろそのような指示を与えなかった条件 A, E で顕著であったことは注目すべき結果である。さらに、未経験者 S3 において同様の関節角速度ピーク順序が観察されたのが条件 B ではなく条件 E であったことは有段者での結果と符合する。このことから、肩、肘、手首の順で関節を回すことは素振りにおいて望ましい身体動作であるが、「肩、肘、手首の順で回せ」といってそれを直接的に教示することは逆にこの望ましい動作を阻害する可能性を示している。

一方で、仮想的教示である条件 E において、未経験者の右腕にこのような動きが生じたことも興味深い結果である。ただ、条件 E での仮想的教示が望ましい効果を生み、条件 B での直接的指示が逆効果を生むメカニズムは明らかではない（条件 B は内的焦点の弊害の一種ととらえることもできるが、それだけではメカニズムの説明としては不十分である）。このような現象が生じたメカニズムについて議論するには、運動指令生成の仕組みに踏み込んだ考察が必要である。

なお、未経験者において特別な教示のない条件 A で関節が逆方向に回転する動きが小さかったにもかかわらず、条件 B、E で逆方向の回転が顕著になったことは、これらの教示がもたらした副作用として指摘しておきたい。

4.2. 剣先軌道の特徴量

前節で明らかになった軌道の違いを定量的に評価するため、いくつかの特徴量を計算した。

(1) 剣先の竹刀の振り下ろし最大速度

図 5 は剣先の最高速度を全被験者・全条件についてそれぞれ中央値をまとめて示したものである。前節で述べたように、被験者に共通して条件 E で最大速度が大きいことが確認できる。

「振りが鋭い」すなわち剣先が速い素振りが望ましい素振りであるとすれば、教示 E は望ましい素振りを引き出す効果があるといえる。他の条件については被験者間で共通した効果は見られなかった。

(2) 剣先軌道の曲率半径の変化

図 6 は、被験者 S1-S3 について振り下ろし中の剣先軌道の曲率半径の変化を剣先の前後方向位置の関数として表したものである。横軸の原点は左右の肩峰の中心位置にとった。この図から、

- ①有段者 S1 の曲率半径は竹刀が前に進むほど増大しているのに対し、他の 2 名の曲率半径は途中で極大値を迎えその後減少していること、
- ②被験者 S2 では条件間の差異がみられないが、被験者 S3 では条件 E において曲率半径が減ることなく一定の値に維持されていることが読み取れる。

竹刀を振り下ろすにつれて剣先の回転半径が長くなることは、「剣先が前に伸びる」ように動くことを意味しているが、これは 2 章でふれた「剣先が走る」ことの物理的な実態を反映している可能性がある。したがって、被験者 S3 の曲率半径が条件 E において振り下ろし終盤で減少せずに一定値で維持されるようになったことは、この教示が「剣先が走る」ような身体運動を引き出した可能性を示唆する。ただし、このような教示がそのような身体運動を引き出すメカニズムは不明である。

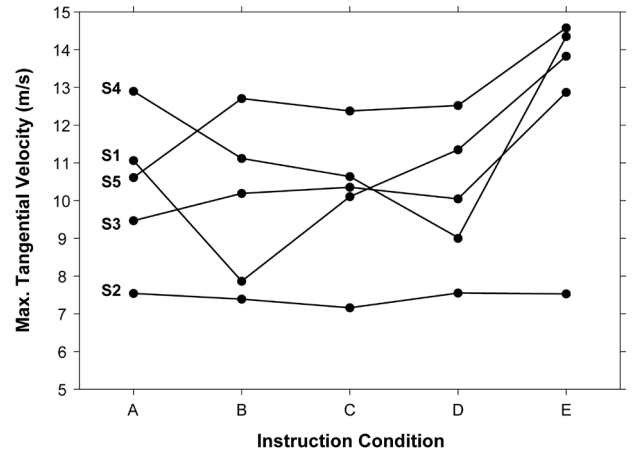


図 5 剣先の最高速度

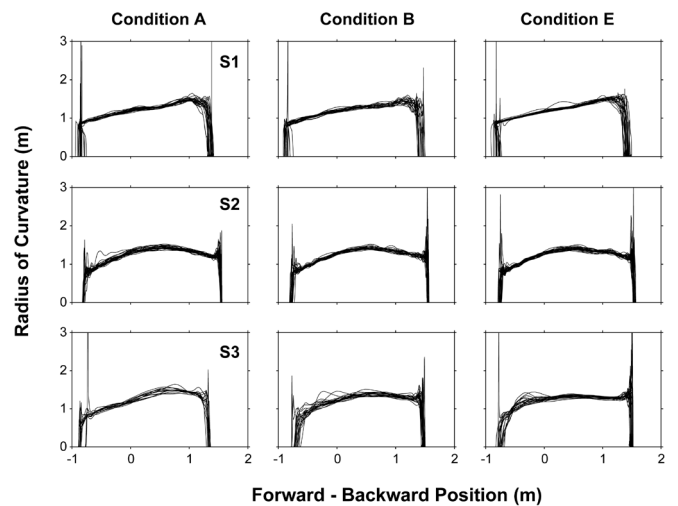


図 6 曲率半径の変化

5. 全体的考察

本研究ではまず、有段者の竹刀や身体運動軌道が他の被験者と大きく異なっていることが明らかになった。実際、今回の実験に参加した被験者の素振りを観察すると、有段者の素振りは他の被験者と異なり、身体の動きが滑らかで竹刀の動きに伸びがある印象を受けた。その点で、2 章で述べた「剣先が走っている」という表現の意味するところは剣道の専門家でなくとも視覚的に感じとれる印象であるといえる。このような印象を与える原因が竹刀や身体の動きにあるのであれば、本報告で示した有段者の運動軌道が示す特徴の中に良い素振りを決定づける因子が含まれていると考えてよいであろう。そして、この因子を確立するには、良い素振りができる複数の有段者の動作を解析してそこに共通する軌道特徴を抽出することが必要である。

素振りの良し悪しは通常振り下ろし時の動きで判断されることや、2 章で示した教示はすべて振り下ろしに関するものであったことから、今回の解析では振

り下ろし動作だけを解析対象とした。一方で、良い素振りのポイントとして「頭上で止めずに一拍子で振り下ろす」ことが求められていることを考えると、良い振り下ろしのために良い振りかぶりが重要である可能性も考えられる。振りかぶり動作を含めた解析は今後の検討課題である。

本研究では、未経験者の素振り動作には被験者間、試行間の大きなばらつきがあることが明らかになった。特に、授業で剣道に触れた経験のある1名を除いた2名の動作は試行間変動が大きかった。今回の実験では、教示の違いが素振りに与える影響を調べることが目的であったため、未経験者にはあえて詳しい説明をせず実験に臨んでもらったが、結果的に再現性の低いデータを生み、分析を難しくすることになった。このことから、今後は、実験に先立って、少なくとも数十回の素振りを安定して行える程度に素振りに慣れてもらう必要があると考えているが、教示の効果の検証を目的とする実験であるだけに実験前にどのように説明を行うかは難しい問題である。模範的な素振りの映像を見せるなどして言語的教示を用いずに素振りに慣れてもらうことを一つの方法として考えている。

本報告では、「肩、肘、手首の順で関節を回すように」という教示の下ではこのような身体の遣い方が実現できず、むしろ、「竹刀の先端についているものを飛ばすように」という教示の下でこのような身体の遣い方が実現できることを示した。このことは、結果として実現される腕の物理的な動きを課題遂行のための規範として用いるとかえってそれが実現できなくなることを示唆している。同様の例は技能指導の場面でよく観察されることであり、「仮想的身体感覚」に基づく教示はこれを避けるための教示法であると考えている。

最後に、図5に示した剣先最高速度の結果からわかるように、本実験では同じ教示を与えてもその効果は被験者に依存して異なっていた。このように、教示の効果が学習者に依存して異なることは身体技能指導の現場ではよくあることである。どのような教示が適切であるかは学習者の能力や身体感覚に依存しており、それゆえに良い指導者は学習者に合わせた教示を与えたい。このことから、教示が被験者に与える影響は被験者ごとに検証すればよいものといえるが、一方で、複数の被験者に対して共通した効果をもたらす教示については統計的処理によって有意な効果を検出することもできるであろう。再現性を重視する観点からはそのような統計的検証も重要な手続きであるが、身体技能指導の観点からは、教示の効果はあくまで学習者個人に依存して異なることを忘れてはならないと考えている。

6. むすび

本研究では、種々の教示の下で剣道の素振り動作を行ったときの竹刀や上肢に生じる変化を実験的に分析した。本実験はまだ予備実験とよぶべき段階にあるが、それでも、経験者（特に有段者）特有の身体軌道特徴をはじめとして、素振りの優劣を反映していると考えられる現象の一端を明らかにすることができた。

5章で述べたように、今後は複数の熟練者を対象にした計測・分析を行い、「良い素振り」を表す身体運動の因子を明らかにすることが第一の課題である。そのうえで、安定した素振りが可能な未習熟者を対象にして、異なる種類の教示が「良い素振り」の発現にどのように寄与するかを明らかにすることが第二の課題である。また、このような実験的検討と並行して、異なる種類の教示が素振り動作に影響を与えるメカニズムについて運動制御と注意の関係性の観点から検討していきたい。

本研究は、科学研究費補助金・挑戦的研究（萌芽）19K22866の補助を受けて行われた。この場を借りて謝意を表する。

文 献

- [1] 諏訪, 「こつ」と「スランプ」の研究 身体知の認知科学, 講談社, 2016.
- [2] 諏訪, 堀, 一人称研究のすすめ: 知能研究の新しい潮流, 近代科学社, 2016.
- [3] ガルウェイ(後藤訳), インナーテニス, 日刊スポーツ出版社, 2000.
- [4] 阪口, 「意識の働き」を組み込んだ感覚運動制御の計算モデル, 日本認知科学会第35回大会論文集, OS03-4, 2018.
- [5] 畑野, 阪口, 課題に対する捉え方の違いが身体運動に与える影響, 日本認知科学会第37回大会論文集, P-126, 2020.
- [6] Wulf, G., *Attention and Motor Skill Learning*, Human Kinetics, 2007.
- [7] Wulf, G., Attentional focus and motor learning: a review of 15 years. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 6, 77-104, 2013.
- [8] 全日本剣道連盟, 剣道講習会資料, p. 18, 2019.
- [9] 鈴木, 吉田, 村山, 内山, “加速度センサを用いた剣道竹刀の素振り評価システムの開発”, 電子情報通信学会技術研究報告, 108(98), 11-16, 2008.
- [10] 月岡, “味わいのある面技”, 剣道日本, No. 505, p. 88, 2019.
- [11] 山田, “山田博徳のワンポイントクリニック”, 剣道日本, No. 505, p. 82, 2019.