

加速度計を用いた剣道における 手のうち作用の動作解析

渡 邊 由 陽
巽 申 直
竹 森 重

I 研究目的

運動技能の熟練（できばえ）の程度を知る基本概念として、K・マイネル¹⁾は、運動経過の時間的・空間的分節に関する運動の巧拙を観察する「局面構造」の Kategorie を挙げている。局面構造が最も顕著に現れるのが、非循環運動であり、3つの分節（準備局面、主要局面、終末局面）に区分される。非循環運動は、単一の運動経過で運動が達成されるもので、投げる、打つ、蹴るなどがあり、単一の運動経過で運動としては完結するのが特徴であり、再度行うには開始体制まで戻らなければならない、循環的な連続は起こらない。準備局面には、主運動が十分に力を発揮できるようにするための準備、導入の役割があり、特徴的なことは、運動方向が主運動に対して反対方向に行われるということである。所謂、主運動の加速局面であり、主運動の成否に強く影響を及ぼす。そして運動の目的である課題を果たす主要局面を経て、終末局面に入っていく。終末局面は、力動的な運動の頂点から平衡状態あるいは静止状態に収める局面であるが、継続する運動が控えていれば、その準備につながる局面であると捉えられている。作道²⁾は、剣道運動の局面構造について、a=竹刀振り上げ（準備局面）、b=打突（主要局面）、c=決め（終末局面）と仮定すると、未熟練者の課題解決過程は<a+b+c>的であり、これに比べて熟練者は移動と打突の

同時的結合による $\langle a \cdot b \cdot c \rangle$ 的であるとしている。しかしながら、対人的運動である剣道運動の課題解決過程は $\langle A+B(a \cdot b \cdot c)+C \rangle$ として捉えられる性格を持ち、A, B, Cは各々「崩し」、「打突」、「残心」、とも言うべき運動局面である。したがって、剣道運動の研究は、基本的にその対人的条件を明確にし、 $\langle a+b+c \rangle$ （個人的な運動形態）の発展形態としての $\langle A+B(a \cdot b \cdot c)+c \rangle$ （＝対人的な運動形態）を構成する諸実体の解明が志向されなければならないことを指摘している。この対人的条件を構成する一つの実体として移動と打突の同時的結合をもたらすには手のうち作用が深く関与すると思われる。手のうち作用とは、「竹刀の握り方、打突したり応じたりするときの両手の力の入れ方、緩め方、釣り合いなどを総合したもの」（全日本剣道連盟³⁾、或いは「竹刀を握る手や指の握り方のことであり、両手首、掌および指を効率的に使用して打突の瞬間の竹刀操作の強弱を加減することにより、冴えた打突を行うことができる」（全国教育系大学剣道連盟⁴⁾と解説されており、また、有効打突は諸条件（試合規則の規定）に加えて審判運営要領でもって、要素（間合、機会、体捌、手のうち作用、強さと冴え）を判断して判定するとされている。このことから手のうち作用は有効打突を求める上で重要な技能課題と位置づけられる。手のうちに関する先行研究には、星川ら⁵⁾、恵土ら⁶⁾、林ら⁷⁾の手掌圧や握りの圧からみた熟練者の竹刀の握り方や力の入れ方に関する報告や志沢ら⁸⁾の両手の「しぼり・かえし」を検討した報告があるが、両手によって竹刀を操作する「引き手」と「押し手」に注目した手のうち作用の報告はほとんどみられない。

また、これまでの動作解析には画像解析法^{9) 10) 11) 12) 13)}が数多く用いられてきたが、剣道のような対人運動では、画像上、競技相手の陰になる部分が生じ、分析不能の場面が出現する。且つ、モデル的な打突動作を学習者に画像で提示しても、学習者は自らの動作とモデル的な動作の相違から改善点を自らの動作に還元することが求められる。この還元過程は、観察者の視点からのものであり、学習者に動作が正確に行われる保証はない。したがって、これらの欠点を補填する方法が動作解析に導入されることになれば、学習者にとって目標の動作形成がより向上するものと考えられる。筆者ら^{14) 15) 16) 17) 18)}が使用している小型で軽量の加速度計は動作者の身体上に視点を置いた計測が可能であることから、動作解析の新たな方法の一つとして試みている。また、運動における力の変化は、運動の加速度に密接な関係があることから、加速度計による観察が

有効な場合が多いといえる。形の変化と力の加わる時間的な隔たりを考慮したうえで、技術指導が可能となればより効果的な剣道指導が期待できると考える。

そこで本研究では、競技者自身の固有感覚を基にした打突評価が得られるようにするために熟練者の打撃動作における手のうち作用を初級者のものと比較することで明らかにすることを目的とした。

II 研究方法

1 被験者

剣道熟練者として八段者1名（57歳）、および初級者として男子大学生1名（19歳）を選び、各被験者には研究目的、課題内容を十分に説明し、研究協力に対する同意を得た。

2 動作課題

中段の構えから、任意の一足一刀の間合より、正面打ちと小手打ちにおける基本打ち及び実践打ちでの動作を3本ずつ行わせた。

3 加速度測定

加速度ロガー、シスコム (SysCom) 社製 AccStik4（3軸加速度センサ、フラッシュメモリ、RCT、CPU、電池が搭載されたコンパクトフラッシュメモリ）をパソコンとUSBに接続し、データは時間80秒、センサ感度±16G/16ビットに設定して100Hzで記録した。収集したデータはパソコンに転送しMicrosoft Excelにより処理をした。

4 加速度計の装着部位と装着方法

装着部位は、左右手甲部、左右肘部の計4箇所とし、手甲部と肘部のX軸、Y軸、Z軸はそれぞれ上下方向、前後方向、左右方向に設定した。なお文中の図に示す波形の+方向はそれぞれ下方向、前方向、右方向を示している。

Ⅲ 結果と考察

1 熟練者の面打ち動作

熟練者の面打ち動作における手甲部と肘部の加速度変化を図1～図4に示した。打撃直前の動作局面における手首の動き、所謂、左右手甲部に装着した加速度波形（図1，図2）をみると，左手の前方（+方向）から後方への鋭い加速と右手の前方向及び上方から下方への鋭い加速（+方向）によって面打撃に向かっている。また，左手甲部の加速は前方（+方向）から後方（-方向）へ急激に切り替わるが，これは，次ぎに起こる右手甲部の下方向への加速時に左手が固定されている動作によって生じているものと考えられる。左手の前方への突き出し（以下，引き手と表す）を主にして竹刀を振り上げ，右手の下方への押し出し（以下，押し手と表す）を主にして竹刀を振り下ろしている。この引き手と押し手の関係は，安藤ら¹⁹⁾の指摘する梶子の原理を応用した支点と力点による手のうち作用によるものと考えられる。即ち，この加速度変化は右手を支点にした場合には，左手が力点（第1のてこ：引き手）になり，左手を支点にすれば右手が力点（第3のてこ：押し手）となる作用によるものを示している。さらに，この引き手と押し手の作用は，肘の加速度変化（図3，図4）とも協調しており，肘部と手甲部は同様な加速度変化を示している。左手による前方への加速と同時に左肘の前方への加速によって竹刀を振り上げ，瞬時に，右肘，右手及び左肘の下方への急激な加速によって振り下ろしに切り替わっている。面打撃では，引き手・押し手の手のうち作用に肘部の動きが協調することの重要性が示唆される。

また，面打ち動作には，真っ直ぐに大きく振り上げて振り下ろす基本打ち（図中：破線の波形）と試合などで使う瞬時的な打ち方と云われる実践打ち（図中：実線の波形）とがある。前者は，有効打突では適正な姿勢でもって打突部位を竹刀の打突部で刃筋正しく打つことを求めている打ち方である。後者は，この基本打ちから発展させた打ち方であり，試合などで，瞬時に対応しなければならない打ち方である。この2動作の比較では，基本打ちの左手甲部の前方への加速は実践打ちよりやや大きくなる傾向がみられるが，引き手・押し手の作用は同傾向であり，ほとんど相違はなかった。熟練者は，竹刀の振り上げ幅の大小に相違が生じてても，引き手と押し手による手のうち作用は変化しないことが

加速度計を用いた剣道における手のうち作用の動作解析

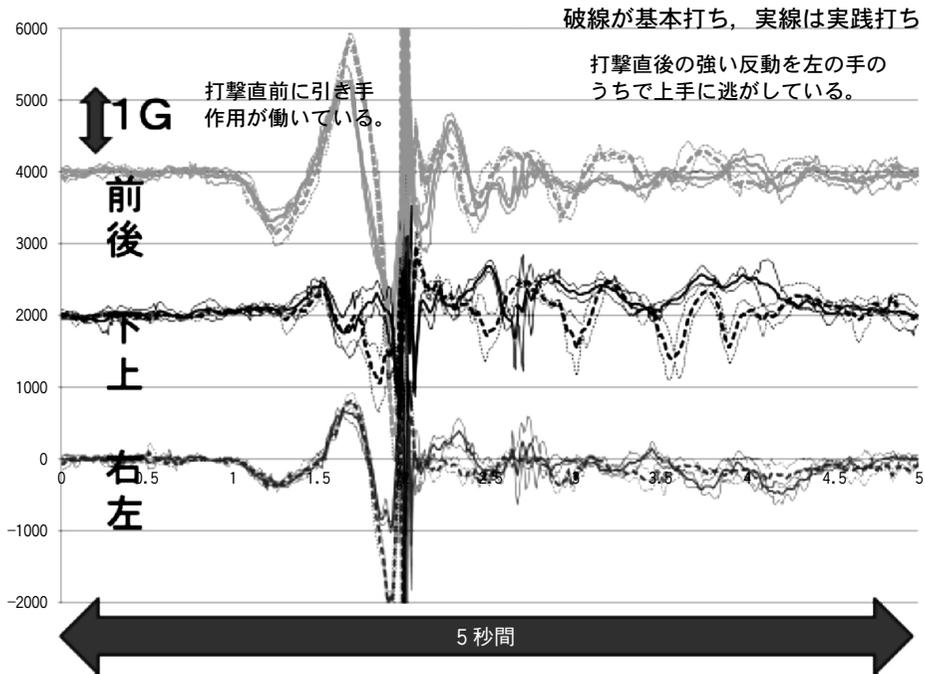


図1 熟練者の面打ちにおける左手甲部の加速度変化

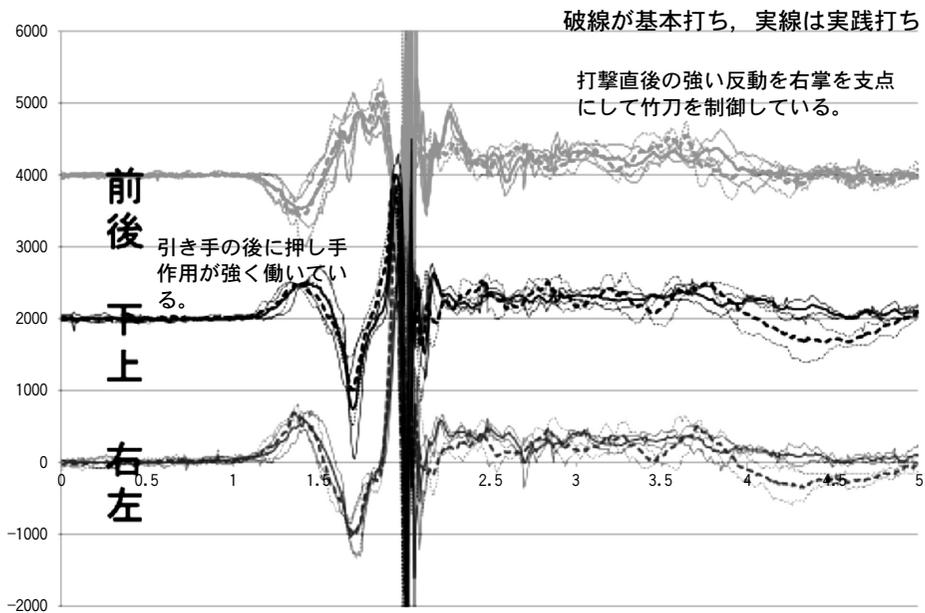


図2 熟練者の面打ちにおける右手甲部の加速度変化

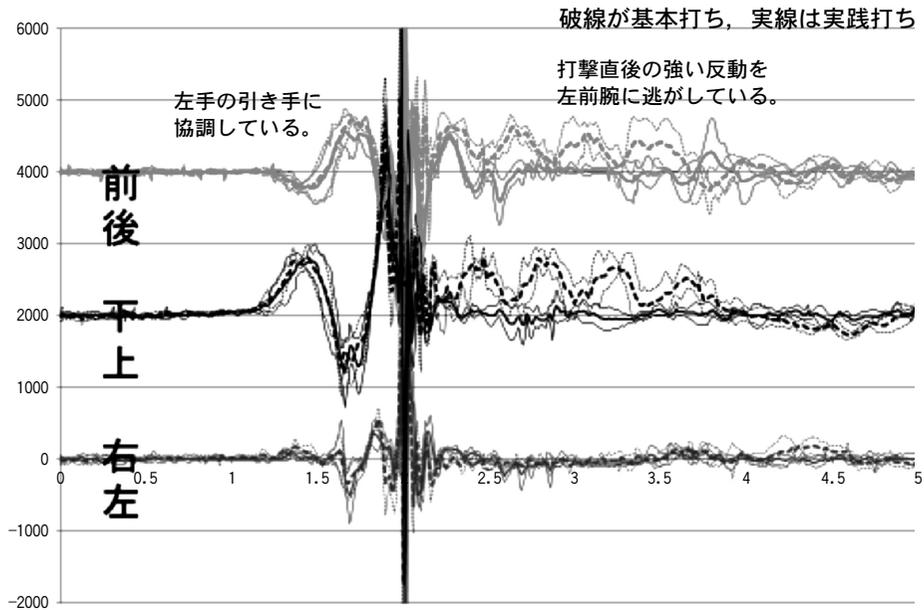


図3 熟練者の面打ちにおける左肘部の加速度変化

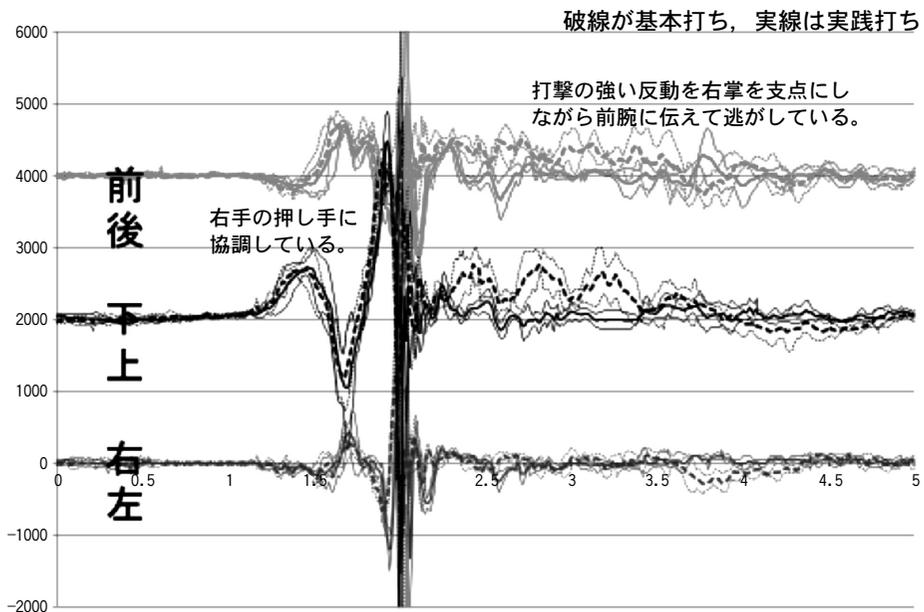


図4 熟練者の面打ちにおける右肘部の加速度変化

認められる。

次に、打撃後の終末局面をみると、基本打ちと実践打ち、いずれの打撃動作においても、左手甲部は加速を制御する形で打撃直後の強い反動を逃がしており、また右手甲部においても同様に打撃直後の強い反動を右拳を支点にして竹刀を制御していることがみられる。熟練者は力動的な運動の頂点から平衡状態あるいは静止状態に収め、継続する運動（残心動作）に素早く備えていることが分る。

2 熟練者の小手打ち動作

熟練者の小手打ちにおける左右手甲部と肘部の加速度変化を図5～図8に示した。

左手甲部（図5）の前方向への加速は、面打ち（図1）に比べ小さくなっている。特に、実践打ちでは左手甲部の加速はみられない。一方、右手甲部（図6）は前方向への加速と下方向への加速によって押し手作用を働かせている。小手打ちの引き手作用は、面打ちに比べ抑制されており、この傾向は実践打ちの方が顕著にみられる。この相違は、小手部位は面部位に比べ近い間合にあることや面打撃に比べ強い打撃力を要しないことに起因するものと考えられる。即ち、面打ちでは、通常、一足一刀の間合から一步入って打撃するため、熟練者はその入りに左手を前方へ加速させるのに対し、小手打ちでは、その場から打撃に入るため、強い引き手を要することなく押し手の加速でもって打撃していると考えられる。

また、左右方向の加速度変化では、右手の振り下ろし時に右方向への大きな加速がみられる。これは、小手部位は規則上右小手と定められており、打ち手からすれば受け手の左側に位置するため振り下ろしが右寄りになる結果と推察される。巽ら²⁰⁾は、ひずみゲージを貼付した加工竹刀を作成し、長軸まわりの作用モーメントの波形から、剣道熟練者の打撃時には、引き手の手首の背屈で絞り作用、所謂、内絞りがみられ、一方、押し手で解放と逆絞りの方向の作用（外絞り）がみられることを報告している。また、押し手にみられる解放と逆絞りの方向の作用は、加速度を増すための技術的な動作であると指摘している。本研究は、この知見と同じ結果を示しているものと考えられる。

次に、肘の加速度変化（図7、図8）をみると、左右肘部共に後方向への加速後、上、前方向への加速が出現している。面打ち動作は、踏み込み後、相手

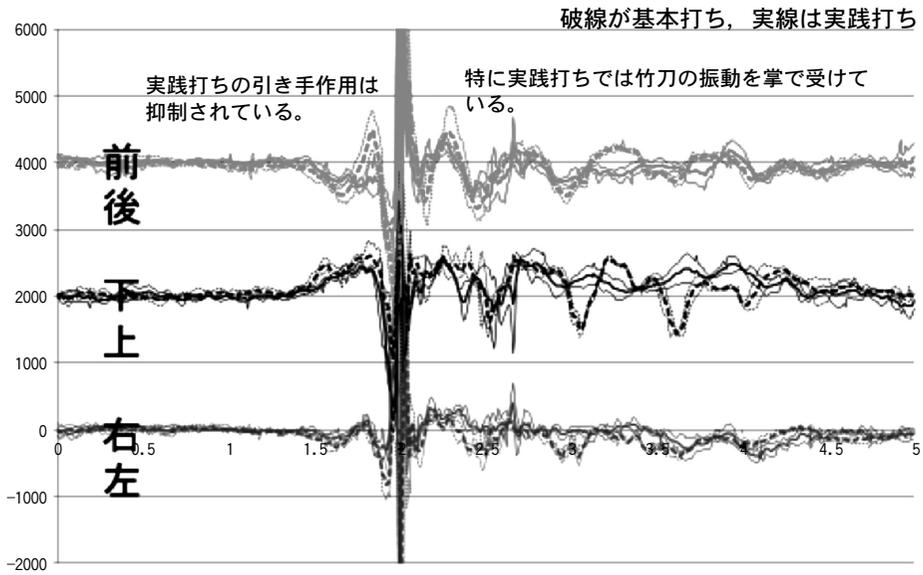


図5 熟練者の小手打ちにおける左手甲部の加速度変化

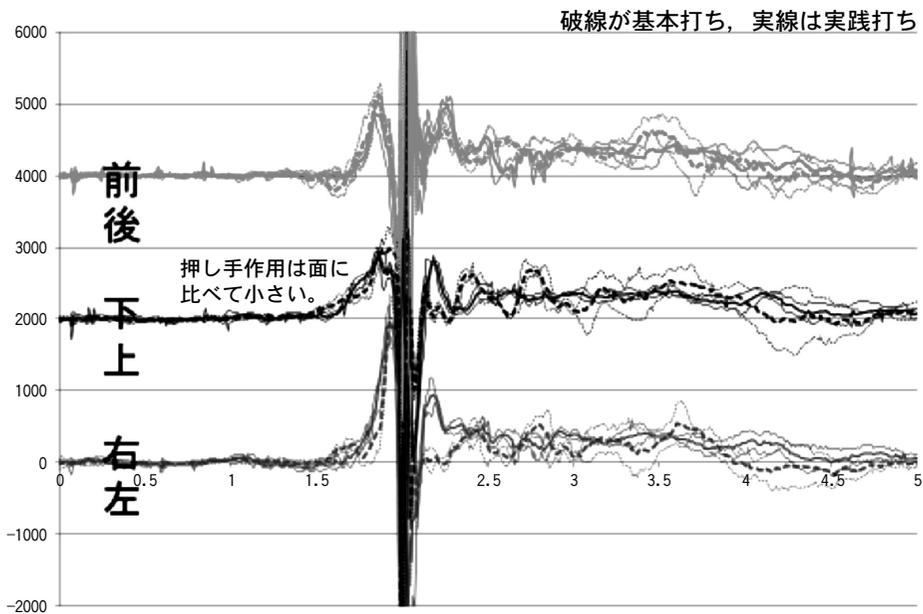


図6 熟練者の小手打ちにおける右手甲部の加速度変化

加速度計を用いた剣道における手のうち作用の動作解析

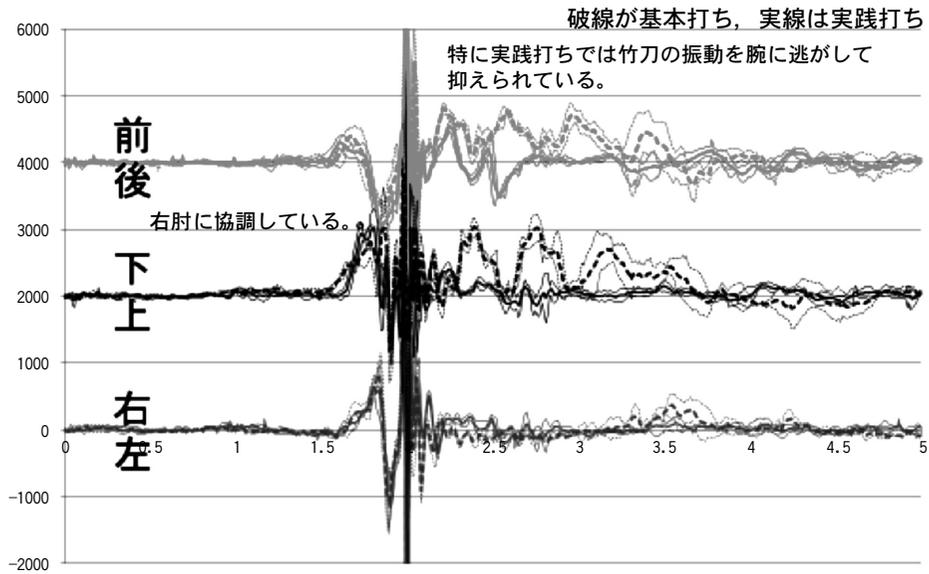


図7 熟練者の小手打ちにおける左肘部の加速度変化

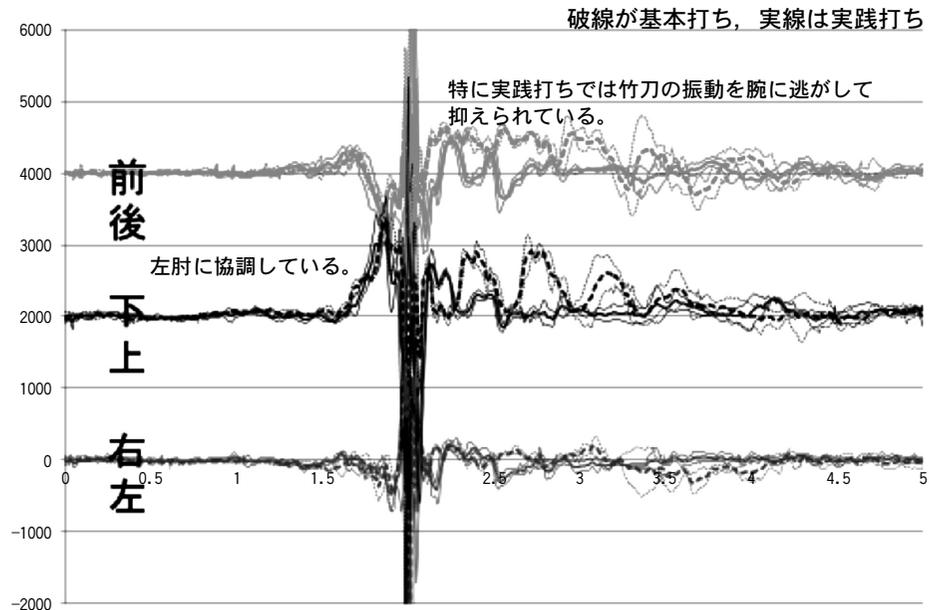


図8 熟練者の小手打ちにおける右肘部の加速度変化

から抜けきる体捌きであるのに対し、小手打ち動作は、通常、相手の体に寄せる体捌きとなり、肘部が屈曲する動作となるためと考えられる。この体捌きの相違が反映した結果と考えられる。

打撃直後の加速度変化では、基本打ちと実践打ち、いずれの打撃動作においても面打ち動作と同様に、加速を制御する形で打撃直後の強い反動を逃がしており、また、打撃直後の強い反動を右拳を支点にして竹刀を制御していることがみられた。

3 初級者の面打ち動作

初級者の面打ち動作における左右手甲部の加速度変化を図9と図10に示した。初級者の左右手とも前後・上下・左右方向の加速度波形は同様であり、同時に前方向・上方向の加速後に後方向・下方向への加速がみられる。また、肘部の加速度変化(図11, 図12)は手甲部と同様な波形を示している。このことから、初級者の面打ちは、中段の構えから肘と手首で同時に竹刀を振り上げ、その後振り下ろす動作であると推察される。初心者指導では、通常、上下振り、正面打ち素振り、斜め振り、左右正面打ち、跳躍素振り等によって基本的な竹刀操作を重点的に身に付けさせる。こうした竹刀操作は、できるだけ大きく頭上に振りかぶり、両腕を伸ばしながら内側に絞るようにして振り下ろす動作を連続的に行わせるため、左右手は打突点の位置となる。この学習体験から初級者は面打撃に入る時、直ぐに両手を同時に振り上げる動作が身に付いているものと考えられる。また、初心者には肩を支点とした第3のてこ運動を活かした振り方によって作用点の距離を大きく移動させて強い打ち方を要求する指導法が影響を及ぼしていると推察される。また、基本打ちと実践打ちの比較において、実践打ちの押し手による瞬時的な加速がみられないことから、初級者の実践打ちの強度は弱まる傾向にあることから理解できる。しかしながら、熟練者の左手の前・下方向と右手の下方向への瞬時的な加速の入れ替え、すなわち引き手と押し手を活かした手のうち作用による打ち方とは顕著に異なる打ち方である。したがって、初心者指導では、こうした手のうち作用の顕著な相違に留意する必要があると考えられる。素振り指導では、連続的に拳上する打ち方に加えて、構え姿勢→素振り(空間打突)→構え姿勢に戻すパターンは、構え姿勢から左手の引き手、右手の押し手作用が効果的に機能する稽古法であることに注目する必要があると考えられる。

加速度計を用いた剣道における手のうち作用の動作解析

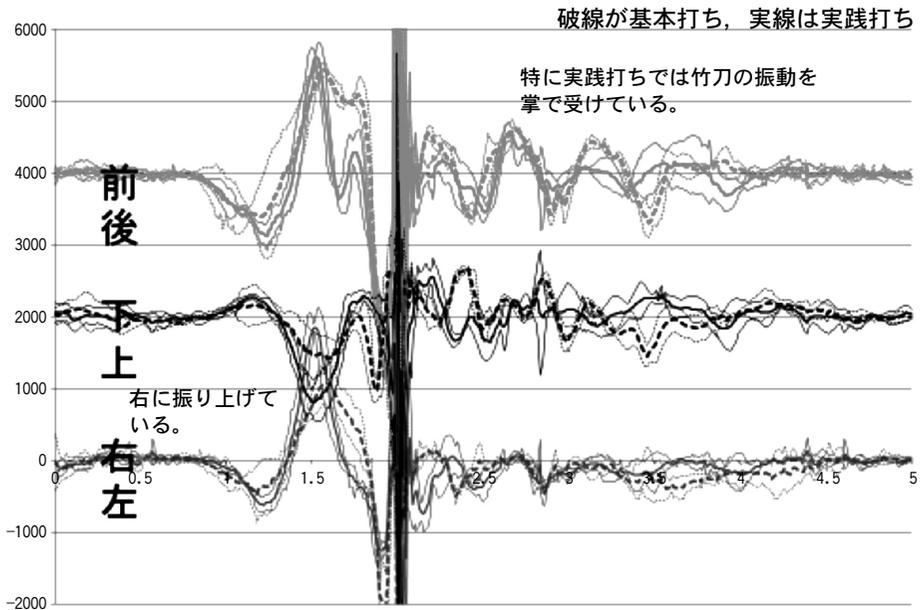


図9 初級者の面打ちにおける左手甲部の加速度変化

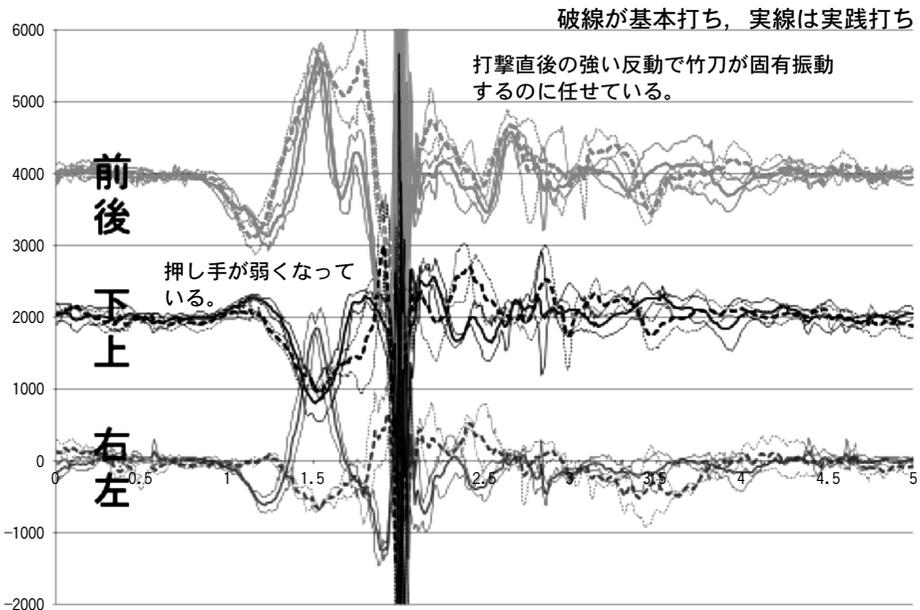


図10 初級者の面打ちにおける右手甲部の加速度変化

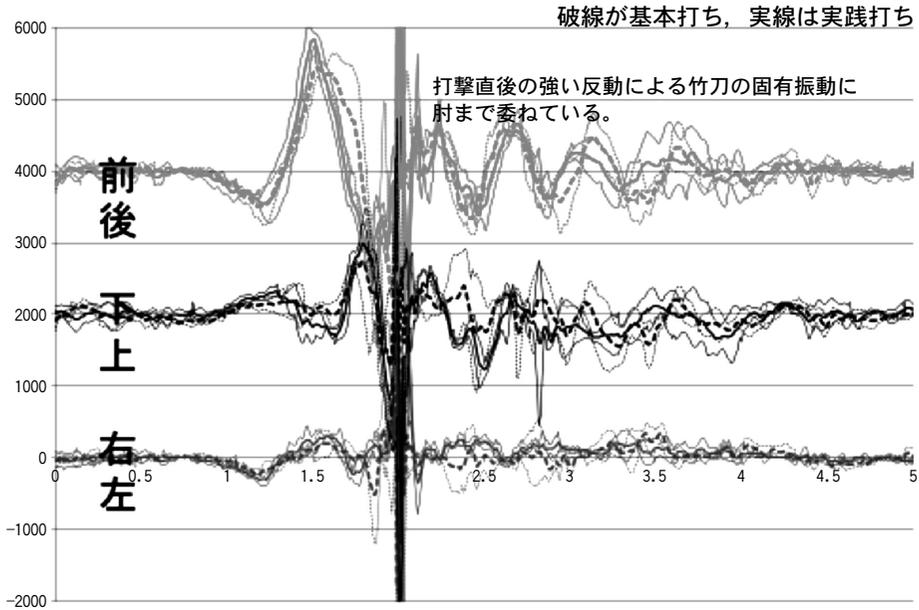


図11 初級者の面打ちにおける左肘部の加速度変化

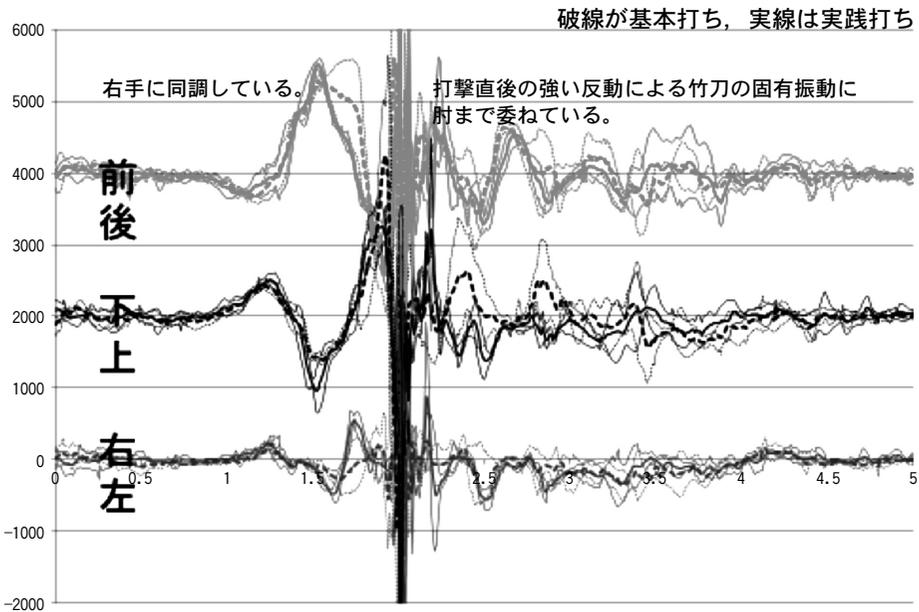


図12 初級者の面打ちにおける右肘部の加速度変化

また、左右方向の加速度変化は、熟練者では右手を左方向へ振り上げて、右方向へ振り下ろすのに対して、初級者は右方向へ振り上げて、左方向へ振り下ろす相違がみられた。手のうち作用は、柄の握り方にも関連しており、竹刀の握り方を茶巾しぼり²¹⁾に握る必要性が説かれている。この茶巾絞りの握り方は内絞りの作用であり、この内絞りの作用が左方向への振り上げ動作をしていると推察される。初級者の手のうち作用の不足はこうした握り方が身に付いていないことに原因するものと考えられる。

なお、打撃後の終末局面は、打撃の強い反動で竹刀が固有振動するのに任せた状態であり、熟練者にみられる竹刀を制御する手のうち作用は出現していなかった。

4 初級者の小手打ち動作

初級者の小手打ちにおける左右手甲部と肘部の加速度変化を図13～図16に示した。左手甲部と右手甲部は、同様な加速度波形を示している。また、左肘と右肘においても、手部と同様に下方向の加速時に後方向への加速が出現している。したがって、初級者は左右の手部、肘部を同時的に拳上する振り上げをしており、熟練者にみられる引き手と押し手作用がほとんどみられないのが特徴的である。また、振り下ろしとでは、熟練者が下方向への加速時に前方向へ加速するのに対し、初級者は下方向への加速時に後方向への加速がみられる。この相違は、初級者では引き手と押し手の作用が弱いため同様に振り下ろしが引き切りの動作になるためと考えられる。

左右方向の加速度変化では、熟練者が右方向へ振り下ろすのに対して、大きく左方向へ振り下ろす違いがみられた。初級者は面打ちにおいても同様に左方向への加速であることから、これは、竹刀の握り方や内絞りの手のうちに関連するものと推察される。

終末局面については、竹刀の反動を正面打ちに比べやや抑えられている傾向がみられた。

初級者の小手打ちは、面打ちと類似した打ち方となっている。こうした傾向は、初心者指導において大きく上下に振ることが優先され、これに準拠した面打ちができれば小手打ちも可能になるとした考え方に一因があるように思われる。しかしながら、手のうち作用の観点からすれば、特に、実践打ちの打ち方は、引き手と押し手の作用が強く働いていることから、この作用に注目した新

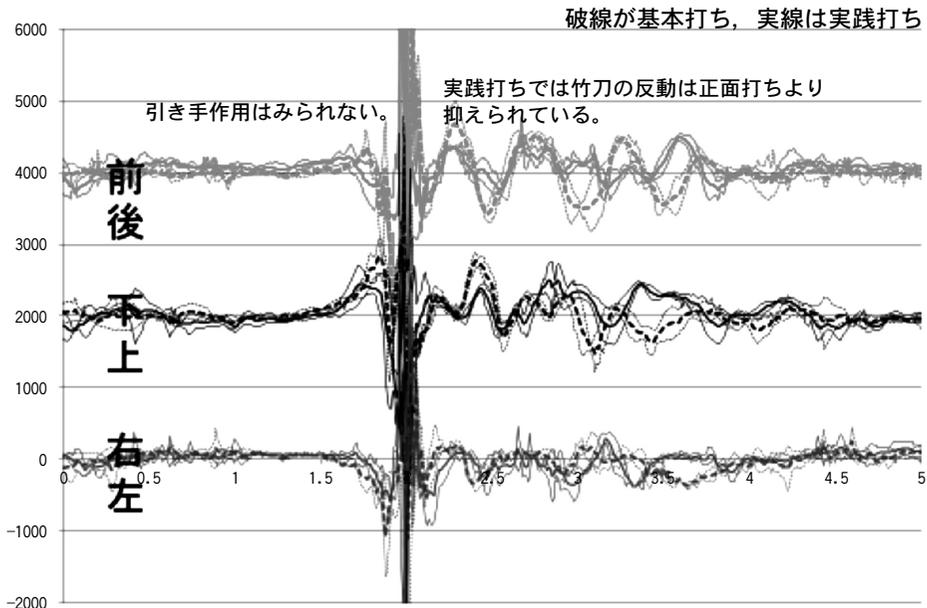


図13 初級者の小手打ちにおける左手甲部の加速度変化

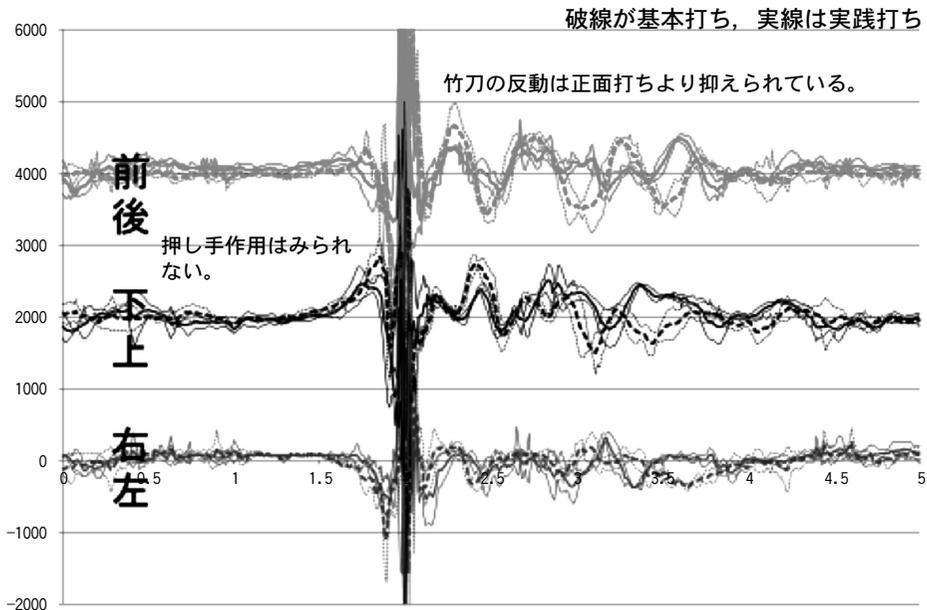


図14 初級者の小手打ちにおける右手甲部の加速度変化

加速度計を用いた剣道における手のうち作用の動作解析

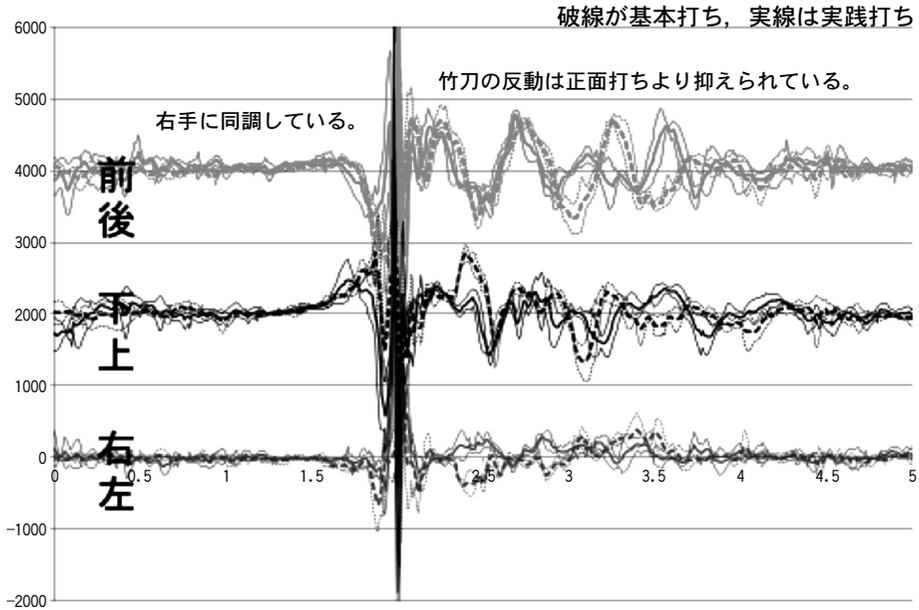


図 15 初級者の小手打ちにおける左肘部の加速度変化

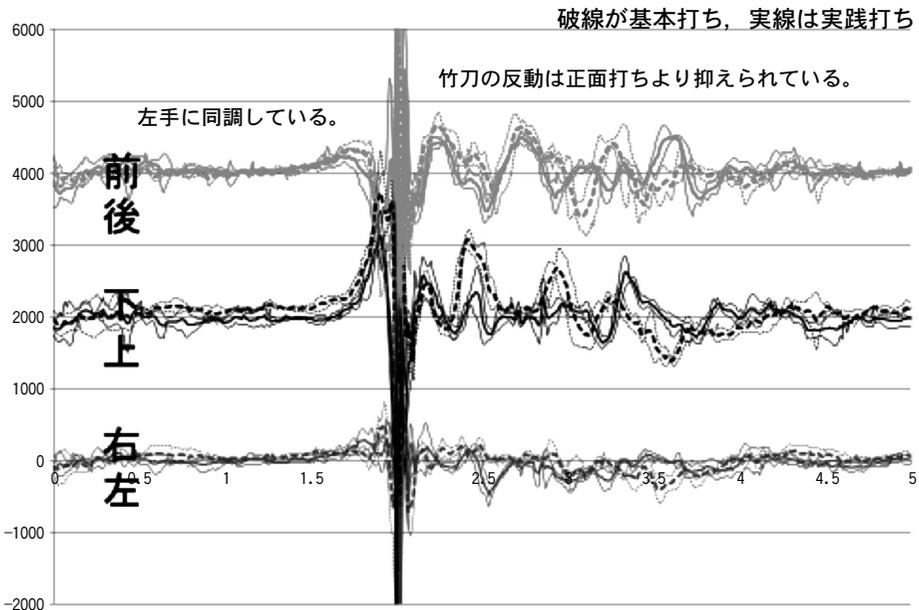


図 16 初級者の小手打ちにおける右肘部の加速度変化

たな指導法が考えられる。小手打ちは面に比べ近い間合にあるため、大きな踏み込みや強い打ちを要しないこと、また、体捌きの違いがあることにより手のうち作用を使い易い利点があると考えられる。また、竹刀に自らの身体を拡張して制御する剣道の感覚を限られた指導時間で初心者に体得させるには、強い反動で振り回されてしまう面打ちよりも、小手の実践打ちから竹刀の制御を意識して学ばせるのが適当であろうと考えられた。

5 まとめ

剣道打撃における手のうち作用の実体を明らかにするために、3軸加速度計を用いて、熟練者（八段）と初級者（大学生）を対象に測定した結果、次のような知見が得られた。

- 1) 3軸加速度計から、引き手と押し手の手のうち作用が明らかになった。
- 2) 熟練者の面打ちと小手打ちには、左手の引き手、右手の押し手による瞬時的な切り替え動作による手のうち作用がみられた。
- 3) 熟練者の打撃直後の終末局面には、打撃直後の強い反動を制御する手のうち作用がみられた。
- 4) 熟練者の引き手と押し手による手のうち作用は、基本打ちと実践打ちの間に相違はみられない。
- 5) 初級者の面打ちと小手打ちには、熟練者の引き手と押し手による手のうち作用はみられず、肩を支点とした振り上げ・振り下ろしによる動作であることが示唆された。
- 6) 初級者の打撃直後の終末局面には、強い反動で竹刀が固有振動するのに任せられた状態がみられた。

以上のことから、熟練者と初級者の手のうち作用は異なることが明らかにされた。对人的運動の剣道では、移動と打突の同時的な結合運動が技能課題となっており、熟練者の引き手と押し手作用の効用を活かす指導法が必要と考えられる。

謝辞

成城大学特別研究助成の共同研究者でもある、東京慈恵会医科大学・分子生理学講座の中原直哉先生には本稿の元資料ともなる日本体力医学会などの発表資料作成等にご尽力たまわりま

加速度計を用いた剣道における手のうち作用の動作解析

して厚く御礼申し上げます。

最後に、特別研究助成発足時よりずっと長年共同研究者として支えてくださりました田中陽子名誉教授には、御縁にて本稿発表の機会を頂戴いたしましたことも含めまして心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 岸野雄三, 松田岩男, 宇土正彦編, 序説運動学, 大修館書店, p 25-30, 1968.
- 2) 作道正夫, 剣道運動の構造的解明に関する一考察: <攻め>の実体に関して (その2), 武道学研究 5-1, p 24, 1972.
- 3) 全日本剣道連盟編, 剣道和英辞典, p 102, 2000.
- 4) 全国教育系大学剣道連盟編, これならできる剣道, スキージャーナル社, p 242, 2014.
- 5) 星川保, 松井秀治, 三橋秀三, 恵土孝吉, 剣道のキネシオロジー的研究—手のうちについて, 武道学研究 2-1, p 36, 1969.
- 6) 恵土孝吉, 松井秀治, 星川保, 剣道の手の内 (応じ技), 武道学研究 4-1, p 18, 1971.
- 7) 林邦夫, 三橋秀三, 剣道の打撃力における握りについて, 武道学研究 7-1, p 78, 1974.
- 8) 志沢邦夫, 原義克, 高野一宏, 八木沢誠, 時本織資, 小倉貢, 山本唯博, 剣道の面打ちにおける [手のうち] の研究—トルクと 16mm 分析を中心として—, 武道学研究 18-2, p 105-106, 1985.
- 9) 坪井三郎, 剣道に関する動的姿勢の研究, 武道学研究 2-2, p 47, 1970.
- 10) 横山直也, データの規格化・平均化による剣道の正面打撃動作の分析—身体各部位の角度変化について—, 武道学研究 20-2, p 29-30, 1987.
- 11) 横山直也, 百鬼史訓, 久保哲也, 川上有光, 剣道における正面打撃動作の標準的 3 次元動作モデルの構築, 武道学研究 33-3, p 39-49, 2001.
- 12) 笹木晴光, 古谷嘉邦, 網代忠宏, 剣道の正面打撃動作に関する研究—八段者と三段者の比較, 武道学研究 29 別冊, p 17, 1996.
- 13) 神崎浩, 伊藤章, 剣道の正面打ち動作に関する動作学的研究—剣先速度に及ぼす動作要因—, 大阪体育大学紀要 36, p 51-60, 2005.
- 14) 渡邊由陽, 竹森重, 巽申直, 剣道競技中の動作解析: 安価・軽量のモニタ装置を用いて, 武道学研究 39 別冊, p 60, 2006.
- 15) 渡邊由陽, 竹森重, 巽申直, 剣道競技中の動作: 身体各部位の動きの時系列解析, 武道学研究 40 別冊, p 67, 2007.
- 16) 渡邊由陽, 竹森重, 巽申直, 加速度計を用いた剣道の対人的技能の動作解析, 武道学研究 41 別冊, p 37, 2008.
- 17) 渡邊由陽, 竹森重, 巽申直, 剣道打撃における身体各部位の時系列解析: 習熟者と未習熟者の比較, 武道学研究 42 別冊, p 40, 2009.
- 18) 巽申直, 岩瀬学, 渡邊由陽, 竹森重, 岡島恒, 柴田一浩, 3 軸加速度センサを用いた剣道技の技能評価の検討, 成城大学経済研究 195, p 33-46, 2012.
- 19) 安藤宏三, 百鬼史訓, 小沢博, グラフィック剣道, 大修館書店, p 28-29, 1987.
- 20) 巽申直, 富樫泰一, 林雅宏, 岩瀬学, 岡島恒, 剣道正面打ちにおける手のうちの作用力: 基本打ちと実践的な打ちの比較, 茨城大学教育学部紀要 (教育科学) 60, p 199-206, 2011.

社会イノベーション研究

21) 高野佐三郎, 剣道 (復刻版), 書房高原, p 117-119, 1971.

(付記) 本稿は, 巽 申直 (茨城大学特任教授), 竹森 重 (東京慈恵会医科大学教授) との共同研究であり, 成城大学特別研究助成の成果の一部でもある。