

### 3 軸加速度センサを用いた剣道技の 技能評価の検討

巽	申	直
岩	瀬	学
渡	邊	由
竹	森	重
岡	嶋	恒
柴	田	一
		浩

#### 緒言

剣道の稽古では正確な基本動作や基本技の習得が重要視され、理合に適合した打突動作の形成を目指すことが強調されている。合理的な動作の追求には習熟者等の動作分析が必要となり、打突分析には、ほとんど画像解析法が活用されてきた。先行研究を見ると、坪井(1970)、福本ら(1977)、内匠屋ら(1979)、横山(1985)、中鉢ら(1987)の報告等があり、理想とする剣道技を形成する上で極めて有意義な知見をもたらした。しかし、これらの研究は2次元分析を採用しており、精度において不十分な点も数多い。近年、横山ら(2001)は、3次元分析法を用いて正面打撃動作を分析し、標準的な正面打撃動作のモデルを構築している。しかし、3次元分析法を用いても、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、分析不可能の場面が出現する。また、画像分析法は、長時間に亘る動作の連続的解析は極めて困難でもある。さらに、モデル的な打突動作を学習者に画像で提示した場合、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が、この還元過程は、観察者の視点からのものであり、正確に学習者に動作が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運動分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。

仰木ら（2004）、渡邊ら（2007, 2008, 2009, 2010）、田中ら（2008）、岩瀬ら（2010）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、動作分析の新たな方法の一つとして期待されている。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上で、運動（剣道）の技術指導が可能となればより効果的な運動指導が期待できると考えられる。

そこで本研究では、競技者自身の固有感覚を基にした技能評価が得られるようにするために剣道技の打突動作に共通の特徴を明らかにすることを目的とした。

## 研究方法

### 1 対象者

大学剣道部所属男子3名（3段，剣道経験14～17年，以下，習熟者），剣道八段者3名（年齢62歳2名，57歳1名，以下，八段者）及び大学剣道授業受講者4名（以下，初心者）とした。

### 2 測定項目

中段の構えから、任意の一足一刀の間合より、正面打ち、小手打ち、小手-面、面抜き胴、引き面を行わせた。

### 3 測定方法

### 3軸加速度センサを用いた剣道技の技能評価の検討

高分解能 AD コンバータ内臓の NR-2000 (KEYENCE) を用いて 3 軸加速度センサ (日立マテリアルズ, H34C+HB203) からのデータを 100Hz で記録し, パソコンに転送しデータ処理を行った。加速度センサ装着部位は, 腰部, 左前腕部, 右前腕部, 左足首部, 右足首部の 5 箇所とした。また, 加速度センサの加速度感度軸は, 腰部 (図 1) の X 軸, Y 軸, Z 軸を左右方向, 上下方向, 前後方向に定め, 前腕部 (図 2) の X 軸, Y 軸, Z 軸は上下方向, 前後方向, 左右方向とし, 足首部 (図 2) の X 軸, Y 軸, Z 軸は前後方向, 上下方向, 左右方向とした。なお, 図中右端 (図 3 図 7) の表記末尾に示す方向は波形のプラス方向を示している。

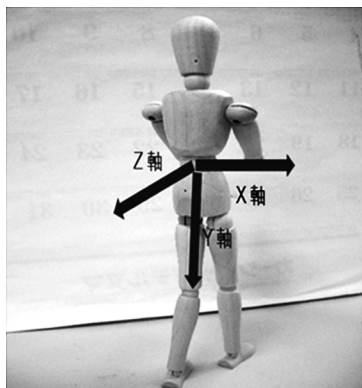


図 1 腰部における加速度感度軸

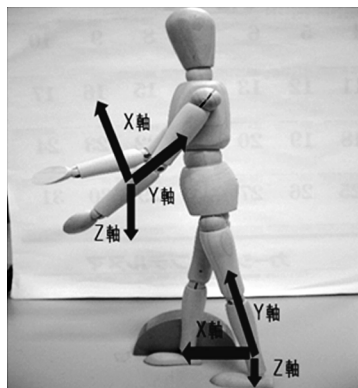


図 2 前腕部と足首部における加速度感度軸

## 結果と考察

### 1 正面打ち

図 3 に, 正面打ちにおける身体各部の加速度変化の事例を示した。習熟者 (図 3 上段) の正面打ちでは, 竹刀のインパクト後に踏み込みの着床が行われているのに対し, 初心者 (図 3 中段) では, インパクト前に踏み込みの着床が先行 (完了) している。この相違は, 初心者では, 打突部位に

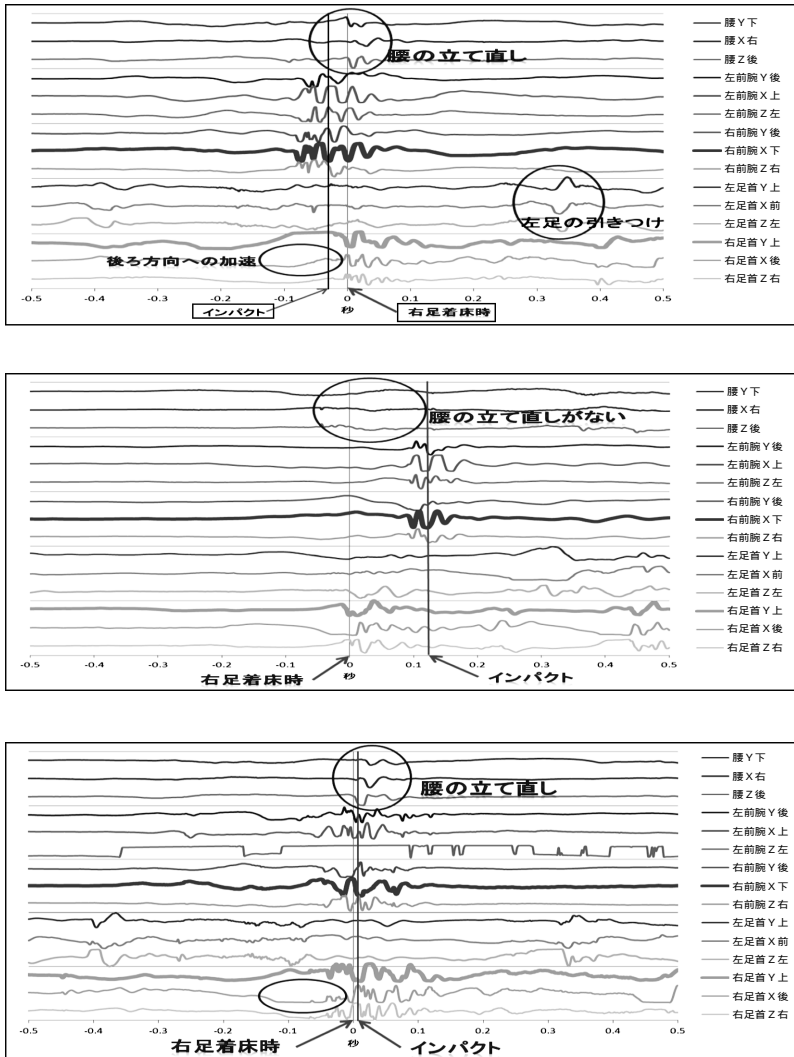


図3 正面打ちにおける身体各部の加速度変化  
(上段：習熟者，中段：初心者，下段：八段者)

### 3軸加速度センサを用いた剣道技の技能評価の検討

体を接近した後、打突をしているのに対し、習熟者では、間合感覚を習得していることから打ち間と打突を上下肢の協調動作で行っていることに起因する。特に、初心者の下肢動作に注目してみると、左足の蹴り足によって得られる前方への加速を右足の踏み込みにより減速させており、結果的に前進移動を遅くしている。一方、習熟者の下肢動作は、左足の蹴り足によって得られた加速をそのまま前進移動に利用して打突を行っており、所謂、剣道で云う“剣体一致”の動作を示している。また、習熟者には、共通して踏み込み直後に腰部の加速がみられるが、これは体の立て直しの動作と捉えられる。打突後の姿勢保持は、対人競技にとって重要な技能要素の一つであり、技能評価の判定項目として考えられる。さらに、習熟者には打突後に左足の大きな加速がみられるが、これは左足の素早い引きつけの動作である。左足の引きつけ動作は、打突後の腰部の立て直しと同様に、体の崩れを生じさせないことを重視する剣道の大切な技能要素であり、技能評価の判定項目となる。

剣道の最高段位である八段者（図3下段）では、右足の踏み込み、インパクト、及び腰の立て直しが大学生レベルの習熟者に較べより同時に行われている動作を示した。すなわち、インパクト時と右足着床時の時間間隔がより短縮した剣体一致の動作が認められた。この理由は、八段者は、60歳前後であり、加齢に伴い筋力や柔軟性の低下により股関節等の可動域が減少していることが考えられることから、八段者は床面から右足を上方向へ高く振り上げないで、前方へより移動する足さばきをしていることによるものと考えられる。このことは、右足首×軸の加速度変化からみても、習熟者が足の振り上げを後方へ加速させているのに対し、八段者は前方向に加速させていることから確認できる。

## 2 小手打ち

小手打ちにおける身体各部の加速度の変化は習熟者（図4上段）、初心者

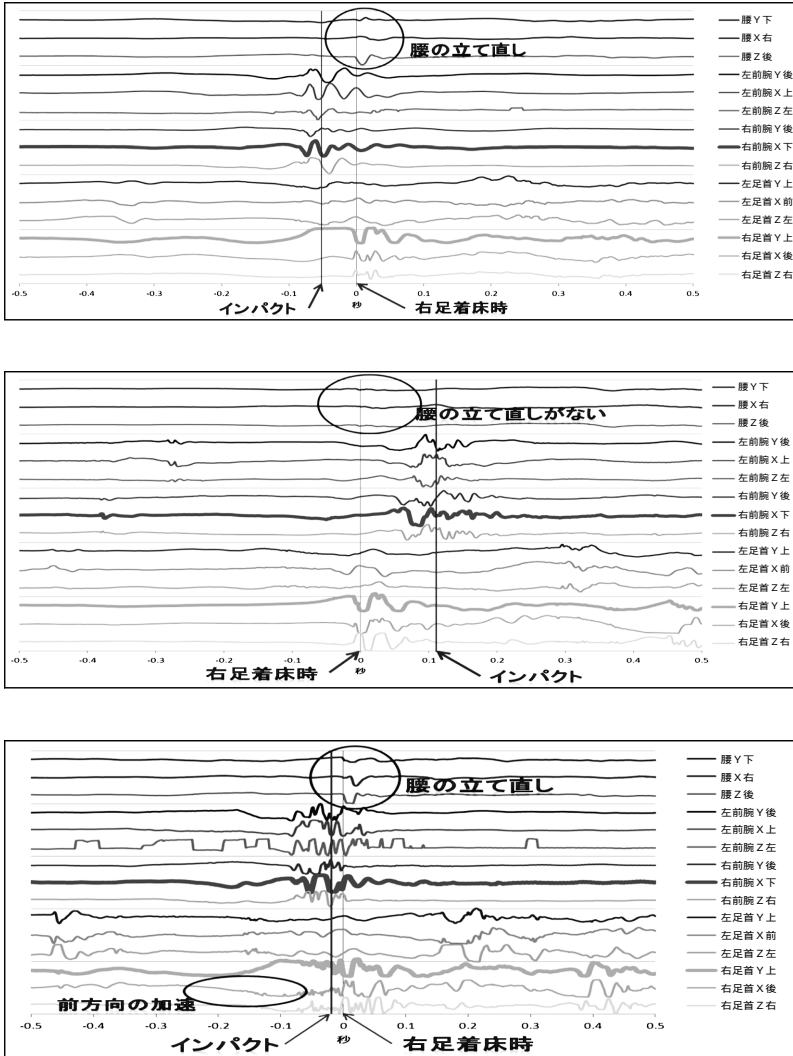


図4 小手打ちにおける身体各部の加速度変化  
(上段：習熟者，中段：初心者，下段：八段者)

### 3軸加速度センサを用いた剣道技の技能評価の検討

(図4中段)及び八段者(図4下段)共に、正面打ち(図3)と類似した動作パターンを示した。しかし、小手部位は、打撃者にとって面部位より近い間合になるため、踏み込みに要する距離も短縮される。したがって、インパクトと右足着床時との時間間隔やインパクト後の腰部による体の立て直しに要する時間には僅かの相違がみられた。特に、八段者では、面打ちに対し、小手打ちはインパクト時が右足着床前にみられる動作特徴を示した。

#### 3. 小手 面

二段技における小手 面は、習熟者、初心者、八段者共に、小手打ちと面打ちの連係動作を示した。初心者(図5中段)は、小手と面、いずれにおいても右足着床後にインパクトを迎えているが、第二打となる面打ちの右足着床とインパクトの時間間隔は、第一打目の小手打ちよりも顕著に短縮している。したがって、連続打ちの学習によって、より剣体一致の動作に近似する可能性が示唆される。初心者指導では、剣体一致の動作を習得させることが課題となることから、二段技の学習が効果的な解決の一方法であると期待できる。

八段者(図5下段)は、二本目の面では、右足着床前にインパクトを迎え、1本目の小手とは異なった動作を示した。二段技のように間合間隔が縮まり、且つ、瞬時に打撃を要する場合には、インパクト時が着床時よりも先行する場合が生じることを示している。

また、習熟者(図5上段)の下肢動作に注目すると、面は小手に較べインパクトと右足着床間の時間間隔が顕著に増加している。これは、一本目を二本目の着床時に併せて体の立て直しをしているものと推察される。すなわち、小手打ちによって生じる姿勢の崩れ等を二本目で補強する動作である。1本打ちの動作に比較して腰の立て直しをより加速させることが二段技の動作特徴といえる。

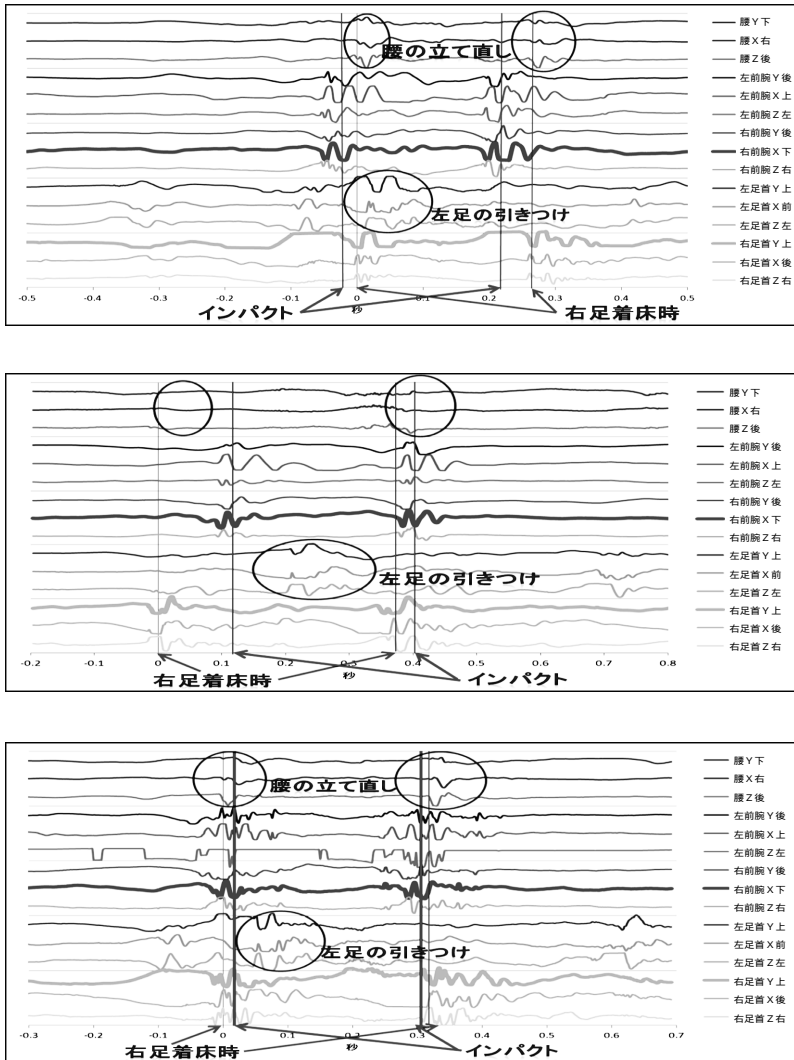


図5 小手 面における身体各部の加速度変化  
(上段：習熟者，中段：初心者，下段：八段者)



#### 4. 面抜き胴

面抜き胴は、習熟者(図6上段)においても、上述の動作とは異なりインパクト後の右足や腰部に顕著な加速がみられなかった。抜き胴は、相手の打突を右前方にかわすと同時に打撃する技であるため、大きな踏み込み動作より相手とのスピードやタイミングを捉えて捌く動作が必要となる。したがって、右足の体捌きの加速後に胴インパクトを迎える動作となっている。初心者(図6中段)においても、習熟者と同様な動作を示したが、インパクト前の体捌きに要する右足の加速変化が他の技よりやや速く且つ大きかった。初心者は、習熟者に較べ右足のみをより大きく動かし、インパクトのタイミングが遅れる動作となっている。一方、八段者(図6下段)は、インパクト後に右足着床を迎え、併せて腰部の立て直し動作があり、面打ち、小手打ちに類似したパターンを示した。すなわち、八段者は、面打ち、小手打ちにみられる剣体一致の動作を面抜き胴においても同様に行っているものと推察される。しかし、大学生レベルの習熟者にみられる動作も一部出現しており、全て、同じパターンで対応しているとは言えない。抜き胴は応じ技であることから、相手の打突スピード、間合、リズム等の要素が関連し、それらに対応した動作をしているものと考えられる。しかし、常に腰の立て直し動作が出現することから見ると、八段者は習熟者に較べより姿勢保持の技能が確立されていると推察される。

#### 5 引き面

引き面では、習熟者(図7上段)と八段者(図7下段)は、右足の加速前に左右前腕の加速がみられ、右足着床前にインパクトが行われる動作を示した。引き技は、後退動作のために面打ち、小手打ちなどの前進動作と移動方向は異なるが、身体各部の加速度変化は同様な動きを示した。すなわち、右足着床前にインパクトを迎える動作であり、右足着床とともに、腰部の立て直し動作によって剣体一致の打突を可能としている。面打ちや小

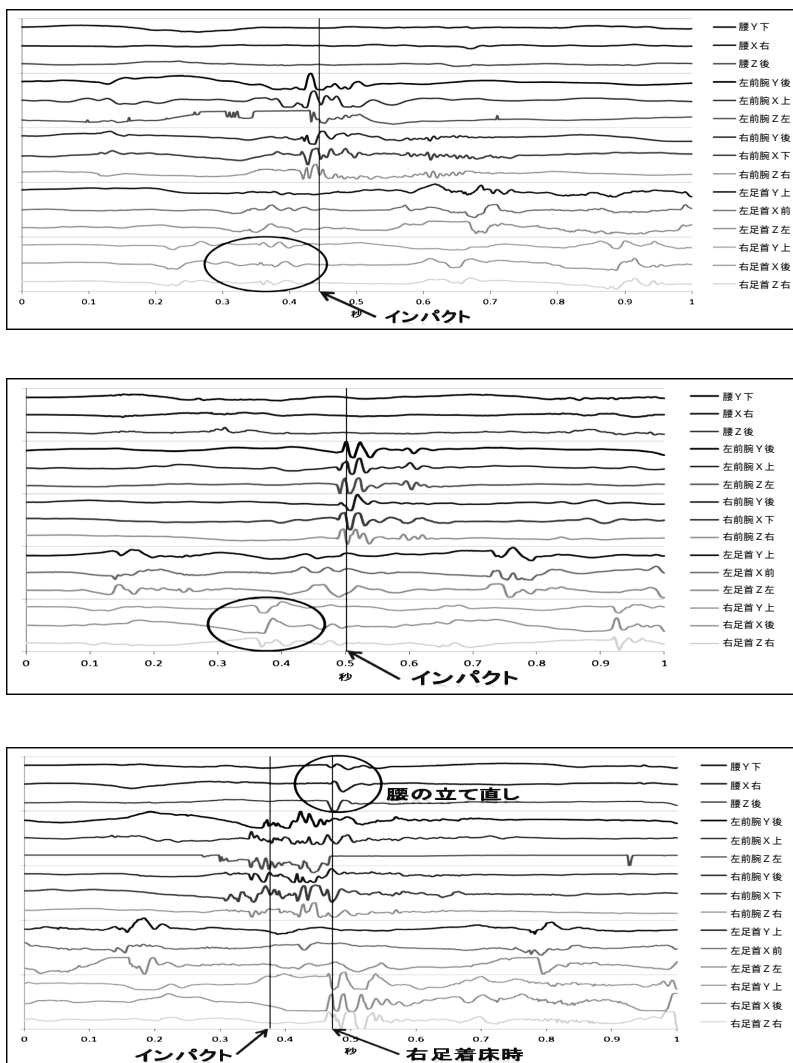


図6 面抜き胴における身体各部の加速度変化  
(上段：習熟者，中段：初心者，下段：八段者)

### 3軸加速度センサを用いた剣道技の技能評価の検討

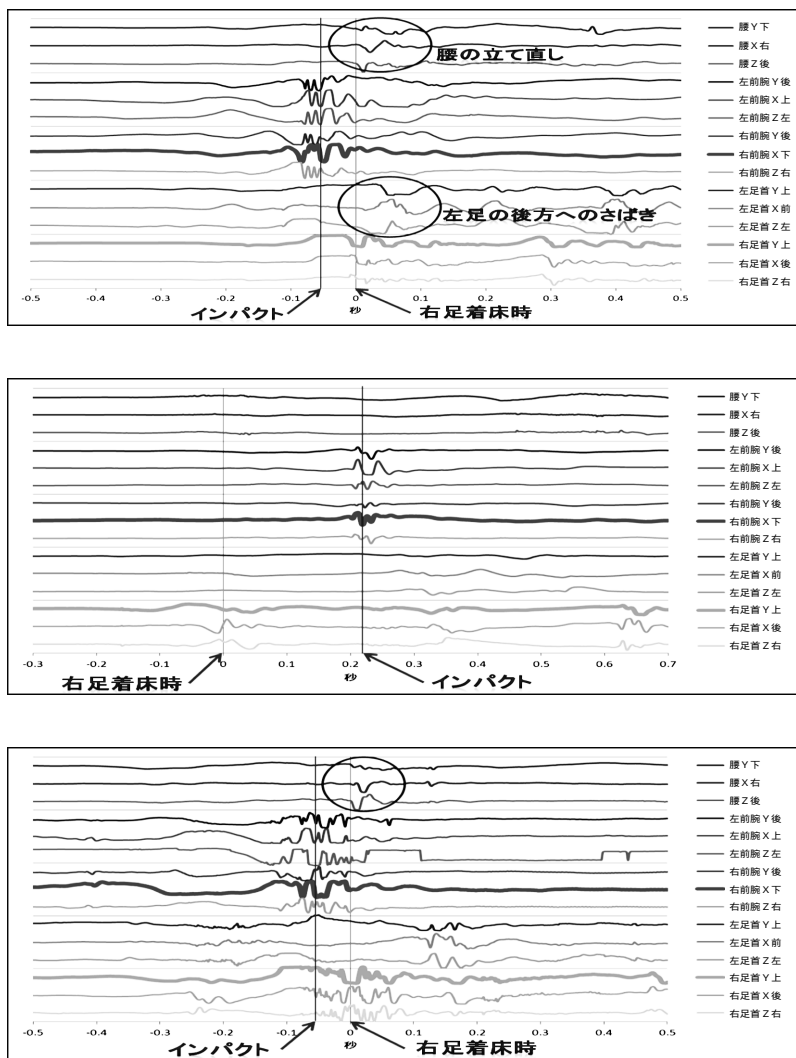


図7 引き面における身体各部の加速度変化  
(上段：習熟者，中段：初心者，下段：八段者)

手打ちにおいては、インパクトと右足着床の時間間隔に相違がみられ、八段者は習熟者より短縮していたが、引き面では、習熟者、八段者とも、同様な時間間隔を示した。これは、間合が近いために、大きく踏み出す必要がないために生じたものと考えられる。なお、インパクト後の左足の加速変化にも相違が見られ、八段者は習熟者に較べ加速時期が遅れている。これは、スピードとピッチを用いて相手に対して遠い間合を取ろうとする習熟者に対し、八段者は、一度の加速で一足一刀の間合を保持する技能を示している。一方、初心者は、左右前腕の加速前に右足の加速がみられ、インパクト前に右足着床をする動作を示した。右足着床時とインパクトの時間間隔が他の技より拡大していることから、より剣体一致を伴わない動作となっていた。したがって、初心者には、前進動作の技より後退動作の技の方が困難な学習であることが推測される。

## 結 語

- 1、習熟者の剣道技には以下の共通した動作特徴が認められ、これらは、技能評価の項目となることが示唆された。

インパクト後に右足着床が出現する。

インパクト直後に腰部による体の立て直し動作が出現する。

インパクト後の姿勢保持のために素早い左足の引きつけ動作が出現する。

- 2、初心者の動作には、以下の共通した特徴が認められた。

下肢動作の右足着床後に上肢によるインパクトが出現する。

インパクト後における腰部による体の立て直し動作が出現しない。

踏み込み動作に伴う右足の振り上げの加速が顕著に小さい。

- 3、八段者の動作には以下の共通した特徴が認められた。

インパクトと右足の着床が同時的に行われる。

インパクト後の左足の引き付けと腰部による体の立て直し動作が素

### 3軸加速度センサを用いた剣道技の技能評価の検討

早く、姿勢保持が確立されている。

加速度計を用いてスキル向上を図る方法は、形の変化と力の加わる時間的な隔たりを学習者自身に直接的に認識させることが可能なことから、今後、この技能評価と装置を用いて、剣道技の動作特徴を比較することが期待できる。

#### 参考文献

- 福本修二・坪井三郎．剣道の上肢作用による身体への影響，武道学研究 10（1），pp 9-18, 1977.
- 岩瀬学・巽申直・渡邊由陽・竹森重．加速度計を用いた剣道技の動作解析，武道学研究 43（別冊），p 47, 2010.
- 中鉢秀一・三浦望慶・直原幹・吉本修・榊原潔．剣道の打撃における前方および後方への移動動作の分析，武道学研究 19（3），pp 28-34, 1987.
- 仰木祐嗣・馬場敏之・坂口勇夫．ピエゾ抵抗型3軸加速度センサを用いたゴルフスイング技能評価システムの開発，日立金属技法（20），pp 45-50, 2004.
- 内匠屋潔・真柄浩．身体部分および竹刀の位相変化からみた剣道の分析，武道学研究 10（2），pp 36-39, 1977.
- 田中陽子・渡邊由陽・竹森重．バドミントンシャトルコックの軌道予測に基づく身体運動能力：加速度モニタを用いた軌道と速度別運動動作解析，体力科学 57（6），p 902, 2008.
- 坪井三郎．剣道に関する動的姿勢の研究〔面打撃の動作分析・速度・加速度〕，武道学研究 2（2），p 47-51, 1970.
- 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.
- 渡邊由陽・巽申直・竹森重．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.
- 渡邊由陽・巽申直・竹森重．剣道打撃中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.
- 渡邊由陽・竹森重・巽申直・作道正夫・岡嶋恒．剣道高段者の打撃中における身体各部位の時系列解析，武道学研究 43（別冊），p 45, 2010.
- 横山直也．力学的エネルギー変動から見た正面打撃動作の分析，武道学研究 17

(1), pp 132-133, 1985.

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），pp 39-50, 2001.

（付記）本稿は，岩瀬学（Manabu Iwase - 流通経済大），渡邊由陽（Yoshiharu  
Watanabe - 成城大名誉教授），竹森重（Sigeru Takemori - 東京慈恵医大），  
岡嶋恒（Tuneshi Okazima - 北海道教育大），柴田一浩（Kazuhiro Sibata  
- 流通経済大）との共同研究である。