

運動競技における

スマートフォンを利用した他者観察と技能評価

高木 誠一郎 森田 脩 久保 哲也 諏訪 敬祐

運動競技の効率的な学習のために、動作の観察や評価は必要不可欠である。扱いやすく適切な観察手法、評価手法が実現すれば、指導現場や個人ら学習者の目標達成をより可能にする。本研究では、近年技術向上と共に普及が進んだスマートフォンの拡張性に着目し、従来の手法の欠点を補った手法について観察・動作評価の両方向から提案する。具体的には、剣道競技を対象に、スマートフォンに搭載される撮影機能やセンサ機能を利用することで、映像のフィードバックとアンケートによる他己観察、加速度値の分析による動作分析を行った。剣道競技経験者への実証実験や分析結果のフィードバックを通じて検証を行った結果、観察と評価それぞれの提案において有用性を確認するに至った。また、課題を明らかにし、今後の展望を示した。

キーワード：運動競技，スマートフォン，他者観察，技能評価，剣道

1 はじめに

1.1 研究の背景

(1) 運動競技における動作観察の重要性

運動競技の学習において、動作を観察し評価を行うことは不可欠である。この運動観察は「自己観察」と「他者観察」二つに分けることができる。

自己観察とは動作者本人が自らの運動を内から観察するものであり、日頃の練習は指導者のアドバイスに加えて、この自己観察によって行われる。日常の練習や稽古では指導者を通じた観察によるアドバイスや、動作者本人の主観を参考に内省をすることが重要である。

他者観察とは動作者本人が自らの運動を、カメラ等によって撮影した映像を見ることで、客観的な立場から観察するものである。

運動は、他者観察を行い問題点の把握しながら自己観察による反復学習を繰り返し行うことで正しい技術を身に着けることができるものである。

(2) 剣道の指導と教育現場の現状

剣道をはじめとする武道は、平成 24 年度から中学校体育科目での武道必修化に伴い教育現場で指導が行わ

れることが増えている。武道の指導現場で効果的な技術の指導をする場合には、他者観察を行わせることが有効であると言われている。しかし、授業カリキュラムの範囲内でそれを実現するためには時間的な制約が存在し、また指導者の数と学習者の数に齟齬が生じる場合が多い。動作のフィードバックのために貴重な実技練習の時間を削ってしまうことは本末転倒であり、撮影した映像の共有についても相当な負担がかかるため現実的ではない。また武道である剣道は感覚的で曖昧な表現も多いため、異なる指導者同士が均一な水準で指導を行うことが難しい。

(3) センサ技術の発展とスポーツ動作分析

剣道に限らず、多くのスポーツ動作分析にはこれまで画像解析法が活用されてきた。運動のように形を残さず消え去るものを記録し、分析を行う手法として効果は大きく、極めて有意義な結果をもたらしたが、問題となるのはこれらが平面的な 2 次元分析を行っていることである。運動は常に 3 次元的な動作であり、精度を上げるのであればタテ・ヨコ・オクの動作にまで注目し分析を行う必要がある。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影になる部分が多く、分析が不可能となることもある。また画像解析を行うのに必要な条件が難しく、多量のデータを連続的に解析するのは困難である。

そこで近年着目されているのが、加速度センサなど各種センサを学習者の身体に取り付ける手法である。センサは技術向上により年々小型化、軽量化しており、そのセンサを学習者の体で取り付けることで身体上に視点

TAKAGI Seiichiro

東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科 2013 年度卒業生
MORITA Osamu

東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科 2013 年度卒業生
KUBO Tetsuya

東京都市大学 共通教育部 人文・社会科学系 准教授
SUWA Keisuke

東京都市大学 メディア情報学部 情報システム学科 教授

表1 アプリケーション開発環境・言語

使用言語	開発環境
Java、XML	Eclipse、JDK

をおいた計測が可能になることから、動作分析に新たな手法の一つとして注目された。また、センサデータのほとんどは数値データとして処理をすることが可能であり、とても扱いやすく多量のデータにも対応できる。

1. 2 研究の目的

映像機器や多くのセンサ類を用いると大きなコストがかかってしまう。

そこで、低コストで他者観察と動作分析を行い学習者の技術向上を支援する環境を構築する。

本研究では、若い年代で普及率が高いスマートフォンを利用してより手軽に客観的観察が行える方法を検討し、検証することを目的とする。今回は、客観的観察の方法として他者観察とセンサによる動作分析の研究を行う。

2 他者観察アプリケーション

2.1 開発環境

本研究では、他者観察のための Android アプリケーションの開発を行う。開発環境及び言語を表1に示す。

Android アプリケーションの開発には Java プログラムの実行環境である「JDK (Java Development Kit)」と統合開発環境である「Eclipse」を使用する。

2.2 アプリケーション構成

(1) アプリケーション概要

他者観察による自己分析支援アプリケーションは学習者が自らの動作を撮影した映像を見ながら、観察すべきポイントをまとめたチェック項目に回答すると、それに対するフィードバックが表示される。アプリケーション画面は上半分で動画再生を行い、下半分にチェック項目を設けた。今回は「剣道」を対象競技とし、その技の中で最も基本といわれている正面打ちの中の「踏み込み面」を対象動作としチェック項目を設定した。

(2) チェック項目

チェック項目は22項目設定し、場面に応じて「準備局面」、「主要局面」、「終末局面」の3つに分けた。また、回答の選択肢は「～できているか」の質問に対して「はい」、「いいえ」、「(映像からは)確認できない」の3つとした。また、チェック項目には3つの局面ごとに優先度をつけ、試合において1本を取るのに重要な項目

表2 チェック項目と優先度の関係

【準備局面】	優先度
正しい間合いをとれているか	1
背筋が伸びているか	2
構えが崩れていないか	3
剣先の位置は正しいか	4
左足の踵があがりすぎていないか	5
足の幅は正しいか	6
【主要局面】	優先度
正しく打突部位を捉えているか	1
打突部位を正しく竹刀のものを打ちで打突しているか	2
しっかりと竹刀に力が加わっているか	3
打突と踏込みが同時に行われているか	4
十分な氣勢が備わっているか	5
アゴが上がっていないか	6
左肘が曲がっていないか	7
体が開きすぎていないか	8
腰が引けた状態になっていないか	9
しっかりと腕が伸びているか	10
左足の引き付けが素早く出来ているか	11
後ろ足をはねていないか	12
【終末局面】	優先度
気剣体は一致しているか	1
スムーズに体の移動ができているか	2
左足の引き付けが遅れていないか	3
腕が上がりにすぎないか	4

については優先度を高く設定し、1本を取るのに必ずしも必要のない項目については優先度を低く設定した。チェック項目の内容と優先度を表2に示す。

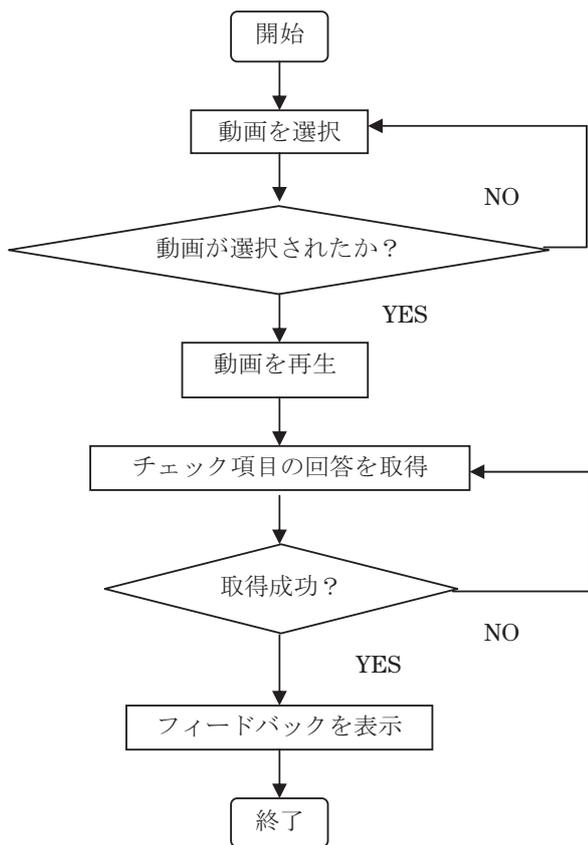


図 1 アプリケーションのフローチャート

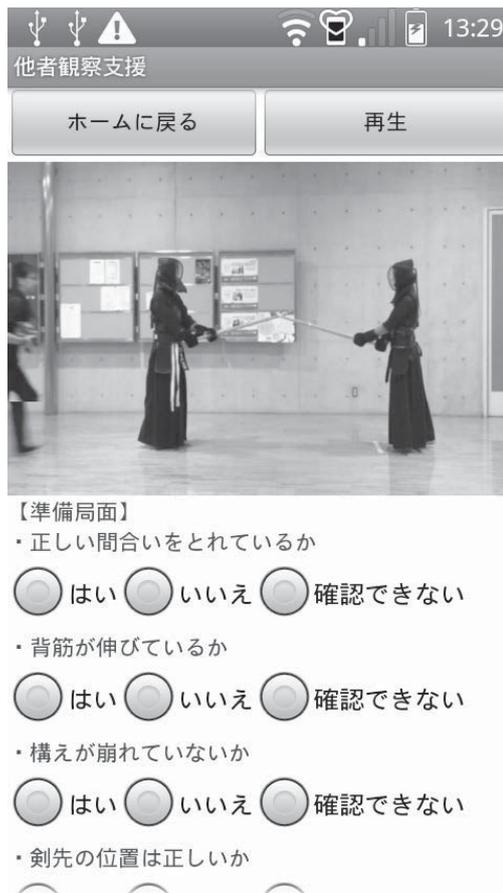


図 2 動画再生画面

(3) フィードバック

フィードバックではチェック項目が何項目中何項目達成できたかの達成率と、フィードバックを表示する。

達成率については、「(映像からでは) 確認できない」という回答があった項目を除き、「はい」と回答された割合を表示する。

フィードバックに関しては、項目で「いいえ」と回答された中で最も優先度が高いチェック項目に対するアドバイスに 1 ずつ表示する。

(4) アプリケーションのフローチャート

図 1 はアプリケーションのフローチャートである。

2. 3 アプリケーション構築結果

動画再生画面を図 2 に、フィードバック画面を図 3 に示す。

スマートフォン端末で予め動作の映像を撮影しておき、他者観察を行う際にそれを選択する。再生される映像を見ながらチェック項目に回答すると最後にフィードバックが表示される流れになる。動画の再生については、スマートフォンの限られた画面で行う関係上、スロー再生やコマ送りなどの機能はなく、動画がリピート再

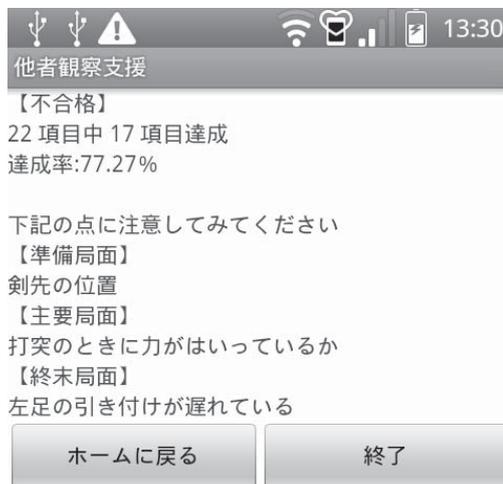


図 3 フィードバック画面

生し続けるようにした。

2. 4 アプリケーションの検証

検証は、本学剣道部の部員（技能上位群 4 名，下位群 3 名）を対象とした。被験者には「試合のつもりで」という指示を与え、「踏み込み面」を対象動作として行った。動画は技を受ける人と被験者が画面に収まるように真横からスマートフォンで撮影した。

2.5 検証結果

(1) アンケート結果

被験者全員から、動画再生のみでなくチェック項目があることにより自己分析がしやすくなったという回答があった。しかし、スロー再生やコマ送り、2つの映像を見比べられると良いという意見や初心者なので自分の動作が正しいか判断できないという意見もあった。

(2) スマートフォン画面

他者観察ができた割合は96.6%であった。この結果からスマートフォン画面でも他者観察が十分可能であることが明らかになった。また、今回使用したスマートフォンの画面サイズは約4インチである。現在発売されているスマートフォンのほとんどが4インチより大きいサイズであることから、他のスマートフォンを用いた場合にも問題はないと思われる。

(3) 回答の精度

指導者（経験年数35年、段位7段）にも被験者の映像で他者観察を行って頂き比較検証を行った。その結果、指導者と被験者の回答が一致した割合は69.9%であった。さらに、指導者が「できていない」と判断したが、被験者が誤って「できている」と回答した割合は6.3%と非常に低かった。この結果から正確な分析ができていくことが明らかになった。また、被験者が指導者より厳しい判断をした場合があり、技能下位群では32.8%あった。これは初心者で正しいか判断できなかった際に「できていない」という判断をしたためであると思われる。

2.6 考察

検証により従来のような動画の再生のみでなく観察すべきポイントを明記したチェック項目を設けることで他者観察が行いやすくなることが明らかになった。しかし、初心者は正しいかどうかの判断ができない場合があり、指導者の見本映像など見比べられるようにするなどの対策を考える必要がある。また、今回の検証では回答の精度が高い結果になった。しかし、剣道は評価がしにくい曖昧な競技であるため、今後精度を高めるには被験者を増やすなどして判断基準を検討する必要がある。

3 センサを利用した動作分析と技能評価

本章では、第2章同様スマートフォンを利用した運動学習支援の手法として、動作分析を目的に、検証を行った手法やその結果について述べる。

3.1 開発手法

スマートフォン端末に搭載されるセンサデバイスを

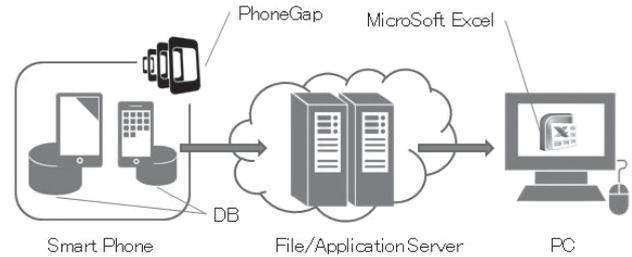


図4 システム概要

表3 システム構成表

用途	使用した技術	主要言語
アプリケーション構築	PhoneGapAPI jQueryMobile	HTML JavaScript
データベース構築	PhoneGapAPI SQLite	SQL JavaScript
データ送受信	PhoneGapAPI HTTP 通信	PHP JavaScript

利用するため、相応の処理速度と端末内DB（データベース）、また端末機能へのアクセスが可能な開発手法である必要がある。それらの要件を満たす手法として、PhoneGapを採用した。システムの概要を図4に、各機能に使用した技術、言語を表3に示す。

3.2 データの計測・分析手法と検証結果

(1) 剣道学習者の加速度データ計測

データの計測にあたり行った実験は第2章で述べた内容と同様、本学剣道部に所属する男女6名及び剣道熟練者として剣道の高段位保有者1名を合わせた7名を被験者とし、測定を行った。対象は大会成績や熟練者による評価を参考に、上位群4名と下位群3名に分類した。対象者には5回の踏み込み面動作を行わせ、同時に腰部にスマートフォンを装着し、作成したアプリケーションを動作させることで腰部における加速度の値を計測した。

スマートフォンを装着した様子を図5に示す。

(2) データの分析と実験結果

計測したデータはMicrosoftExcelを利用し、分析を行った。データはXYZ値で記録されており、各軸の方向は図6に示す通り、被験者に対してX軸が上下方向、Y軸が左右方向、Z軸が前後方向となる。計測は100msごとに行うため、データ取得の時間単位は0.1秒間隔となる。

加速度センサにより取得した加速度値は常に重力の影響を受けているため、X値が常にマイナス方向へ加算

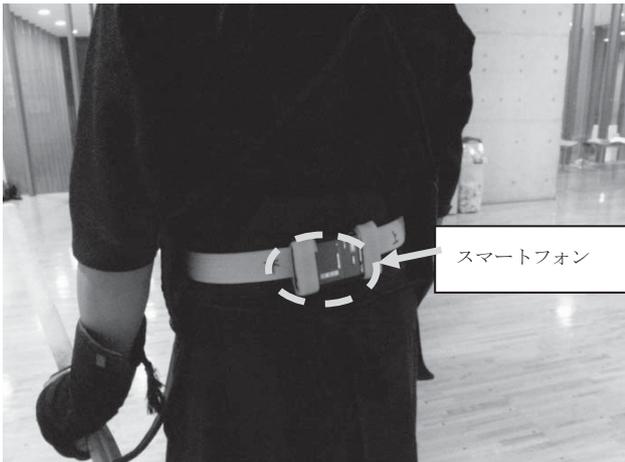


図 5 スマートフォンを装着した様子

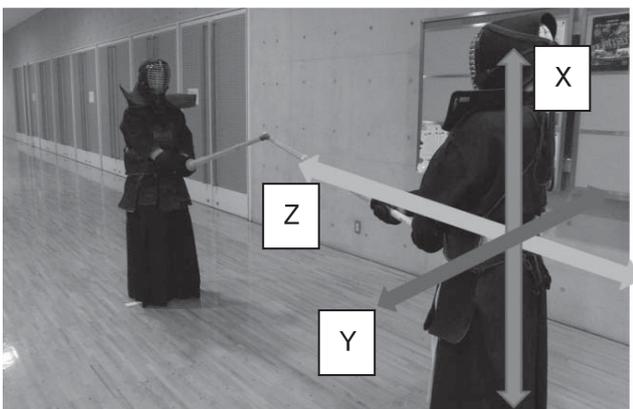


図 6 被験者と各軸の方向

されることとなる。重力の影響はどうしても生じるが、初期状態で発生する重力は減算する必要がある。そこで減算の方式は次のように設定した。

「構えに入ってから（計測開始から波形が一度落ち着いてから）0.5 秒の平均値を姿勢による重力の分散値とし、符号を反転させたものを加算する」

ここではデータの分析手法のうち、特に重点的に行った手法について述べる。図 7 及び図 8 は、それぞれ上位群、下位群の動作を加速度値として折れ線グラフで表記したものである。この波形が示す動作は何の動作であるか、ビデオ映像を参考に全動作を分析し、動作と波形の関連性についてまとめることで、波形における上位群の特徴と下位群の特徴を見出すことができた。

例に挙げた波形において示すものは以下の通りである。

- A：踏み込みを行うまでの予備動作。すり足などにより間合いを調節する。
- B：踏み込み動作。
- C：着地および着地後に次の動作へ移行する継の動作。上位群のほとんどの動作者とそのデータにおいて、A

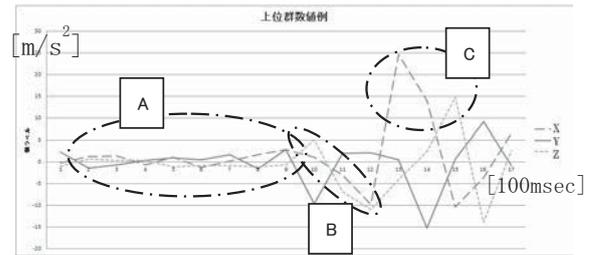


図 7 上位群波形例

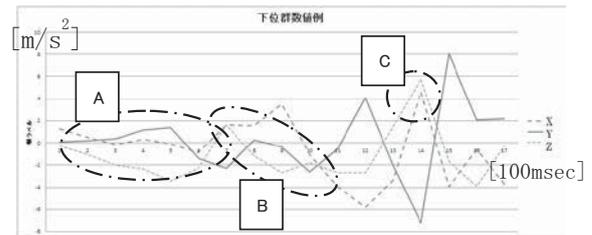


図 8 下位群波形例

の動作は均一に穏やかな波形を示し、B の動作は値が大きく短い時間で行われ、C の動作では X 値の正頂点と Z 値の正頂点が例のように別時点で生じる傾向があることがわかった。C の動作で X、Z 値の頂点が同じ時点で発生した場合、継の動作への移行がスムーズにいかず、また膝への負担が大きくなってしまう。

以上に示した例をはじめ、上位群と下位群の加速度値特徴を表 4 に記す。

表 4 上位群と下位群の加速度からみた傾向

	上位群	下位群
動作時間	短い傾向にある	長い傾向にある
数値の大きさ	大きい傾向にある	小さい傾向にある
数値の変化量の大きさ	大きい傾向にある	小さい傾向にある
踏み込み前の予備動作	・すり足を行う、前後突勢をとるなどで間合いを調整する ・上記行為をとっても数値の変化は少ない	・大きくすり足を行うことで間合いを調整する ・そのため数値の変化が大きい
予備動作から踏み込みまでの変化	・かかる時間は短い ・溜める動作や前傾する動作を行いながら前進するため、X 値が上昇し Z 値は場合によって上昇量が変化する	・比較的時間がかかる ・竹刀を振り上げる、大きく溜めるなどを行うため、XYZ それぞれの値が場合によって変化する
踏み込み中の変化	・Y 値が踏み込みと同時に正方向に大きく変化する	・Y 値の変化にバラつきがあり、一概には言えない ・踏み込み前に一度静止した場合、勢いが弱く Z 値の変化量が少ない
着地するまでの変化	・X 値の正頂点の後に Z 値正頂点が発生する傾向がある ・打点と思われる Y 値の下降時に着地点が発生する	・着地点と思われる頂点が発生しなかったり、同時に発生したりする
各試行間の変化	・被験者ごとに安定した傾向のあるグラフになりやすい	・試行ごとにバラつきのあるグラフになりやすい
その他	Z 値と Y 値が連動する傾向にある	X 値と Z 値の変化のしかたに共通性が少なく、Z 値と Y 値の変化の仕方にも共通性が少ない

(3) 分析結果の整合性確認と検証

データを分析した結果得られた、上位群と下位群のデータの特徴を、実際の剣道の動作として還元し、質問シートを作成した。例えば上位群は加速度値の値が大きい特徴があることに加え、時間単位での加速度の変化量も大きい、といった特徴から「緩急を明確につけた動作を行っている」と解釈し、動作の緩急を明確につけている方が剣道において高い技能を示すか質問をするといった形式である。この質問シートを剣道高段者（経験年数35年、段位七段）に回答をもらい、検証結果の確認とした。設問7つ中6つの共通回答を得ることができ、共通でなかった一つは設問の記述が曖昧であり「どちらとも言える」という回答を得た。これにより、データからみた技能上位群の特徴と、剣道高段者からみた技能上位群の特徴が一致した。

3. 3 考察

一台のスマートフォンにより「踏み込み面」動作の加速度を記録し、それが技能上位群か下位群であるかを判定することは十分に可能であることがわかる。特に動作全体にかかる時間と、踏み込む瞬間から着地までの加速度の変化量には、技能上位群と下位群の間で顕著な差があった。運動分析をする上で身体の体幹部分と末端部分の加速度値は強い相関関係にあるため、体幹部分にスマートフォンを装着し記録を行うことは、剣道の踏み込み面の動作だけでなく他の技や他の運動競技にも活用することができると考えられる。しかし、技能上位群の被験者であってもバランスが崩れたりするなどして下位群の特徴を見出す場合もあったため、今後システムとして実用化するにはさらに多くの判断材料が必要であると考えられる。

また、今回のセンサによる評価実験から、技能上位群の中に下位群の傾向である動作の癖があることが明らかになった。被験者の指導者に確認したところ、この被験者は身体の動作に関連する部位の故障を頻発していることがわかった。これにより、本研究が今後より発展することでより有用性のあるシステムを構築できると考える。

しかし同じ被験者であっても常に同じ動作をすることは難しく、技能上位群としての動作モデルを定義するには至らなかった。今後は被験者の数を増やすなどして検証をしていく必要がある。

4 おわりに

4. 1 まとめ

本研究では、スマートフォンを利用することにより低コストで手軽に他者観察と技能評価ができることが明らかになった。

他者観察では、従来例のような動画の再生だけでなく、観察すべきポイントを明記することにより自己分析が行いやすくなることが明らかになった。本研究では、それをチェック項目によって実現した。しかし、初心者にとっては正しい動作がわからないなど、人によって判断基準が異なることがあった。自己分析の評価精度については、ほぼ正確に行えていたが、技能上位群と下位群の間に誤差があり、初心者にとっては判断が難しい部分があった。

技能評価では、スマートフォンに搭載する加速度センサを利用したアプリケーションを作成し、取得した値を検証した結果、被験者の動作から得られる加速度値と被験者の剣道技術との相関性を明らかにすることができた。加速度値はデバイスの傾きによる重力の分力の影響を常に受けるため、動作をより正確に把握するには、角速度を検知するジャイロセンサの利用を検討する必要がある。

4. 2 今後の課題

他者観察においては、動作が正しいかどうかの判断基準を指導者の動画と見比べられるようにするなどの方法など検討する必要がある。また、動画がリピート再生されるだけであったが、スロー再生やコマ送りなどの機能を加える必要がある。今回はAndroidスマートフォンのネイティブアプリケーションの構築を行ったが、今後はデータベースと連携し過去のものやグループ内での動画の共有することにより、過去の自分の映像や見本にしたい先輩や指導者の映像と見比べられるような機能を追加し、更に詳細な分析が行えるような検討を行いたい。

技能評価においては、より高精度な動作分析へと発展するために、本研究で取り扱った加速度センサに加えてジャイロセンサなど他のセンサデータを加えた分析を行う必要がある。それに加えてより多くのデータを計測し分析を行うことで、システムとして技能の自動評価を実現することが期待できる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり実証実験に快くご協力いただいた本学剣道部のみなさまに感謝の意を表します。