

よりよい動作を素早く提案するシステム
- 家庭用デジタルビデオカメラを利用して -

岡村麻人¹⁾, 石井壮郎²⁾, 林昌希³⁾, 青木義満³⁾, 黒瀬龍之介³⁾, 窪田辰政⁴⁾, 三橋大輔⁵⁾

¹⁾ 筑波大学大学院

²⁾ 松戸整形外科病院

³⁾ 慶應義塾大学

⁴⁾ 静岡県立大学

⁵⁾ 筑波大学

キーワード: テニス, サーブ, 動作分析, 画像解析

【要旨】

近年、光学式三次元動作解析装置を用いて、スポーツ動作の kinematics や kinetics に関する知見が数多く報告されるようになった。しかし、こうした装置は一般的に高価であり、解析の手間も甚大であるため、現場へのフィードバックに時間がかかるという問題があった。そこで筆者らは、家庭用デジタルビデオカメラのような比較的安価な機器で、簡便に素早く動作分析できるシステムを開発した。このシステムにスポーツ動作の動画とそのときのパフォーマンスデータを入力すると、自動的に画像処理と統計処理が行われ、選手のパフォーマンスに影響する姿勢が表示される。ビジュアル化された情報を迅速にフィードバックできるため、選手はイメージしながら練習でき、段階的なパフォーマンスの向上が期待される。本稿では、システムを男子ジュニアテニス選手のサーブ動作に適用した例を提示する。選手はシステムを用いてサーブの練習を3カ月間継続したところ、動作が改善する可能性が見受けられた。

スポーツパフォーマンス研究, 9, 146-156, 2017年, 受付日: 2016年9月29日, 受理日: 2017年3月25日

責任著者: 岡村麻人 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1 s1521414@u.tsukuba.ac.jp

**A system utilizing a home digital video camera
for rapid generation of feedback on players' motions**

Asato Okamura¹⁾, Takeo Ishi²⁾, Masaki Hayashi³⁾, Yoshimitsu Aoki³⁾,
Ryunosuke Kurose³⁾, Tatsumasa Kubota⁴⁾, Daisuke Mitsuhashi⁵⁾

¹⁾ Graduate School, University of Tsukuba

²⁾ Matsudo Orthopaedic Hospital

³⁾ Keio University

⁴⁾ Shizuoka University

⁵⁾University of Tsukuba

Key words: motion analysis, image analysis, tennis, serve in tennis

[Abstract]

Three-dimensional motion analysis systems for studies of kinematics and the kinetics of body motion have become increasingly popular and are more often used in recent years. However, concerns about the use of this system include its high cost and the delay in feedback to both the players and the coach and other staff on the field due to a high-effort analysis time. The present study reported on the development of a low-effort, quick-turnaround body motion analysis system utilizing an economical device, i.e., a home digital video camera. After moving images of sport motion and performance data are inputted into the system, image processing and statistical processing are both done automatically, and image data (information) useful for improving the players' performance are displayed. Players can practice using this information. Their performance is expected to improve in stages because the system gives visual feedback to them quickly. The present paper reports a demonstration of this newly developed system of motion analysis as applied to the serve of a male junior tennis player. After the athlete had continued to practice his serve using this system for three months, it was possible to see improvement in the motion of his service.

I. 問題提起

スポーツ現場において、多くの選手は試合でのパフォーマンスを向上させるため、「よりよい動作を習得したい。」といったニーズを持っている。こうしたニーズに応えるため、指導者は選手に動作指導を行うが、その際に「言葉かけ」を行うことが多い。例えば、テニスの現場では「テイクバックをもっとはやく引こう。」「身体の軸をブラさないように注意しよう。」などの「言葉かけ」が頻繁に聞かれる。しかし、指導者の「言葉かけ」が必ずしも意図したとおりに選手に理解されるとは限らない。例えば、テニスのストローク動作において、指導者は「タイミングが早いこと」を想定して「テイクバックをもっとはやく引こう。」と選手に伝えても、選手は「動作のスピードが速いこと」をイメージしてしまうかもしれない。

そこで、スポーツ現場では「言葉かけ」を補助する目的で、視聴覚教材(例:鏡, VTR など)によるフィードバック(以下、視覚的フィードバック)が行われるようになった(難波, 1970)。「視覚的フィードバック」による動作指導を実施した場合、選手は動作を頭の中にイメージして学習することが可能となる。数多く存在する「視覚的フィードバック」の中で最も単純な方法としては、鏡の利用が挙げられる。鏡の利用は簡便であり、また自分の動作をリアルタイムに確認できるため、鏡の前での反復練習は現場で古くから実施されてきた。しかし、三上ほか(2013)は鏡を用いた「視覚的フィードバック」には以下 2 つの問題点があると指摘している。

- ① 確認可能な視点が限られる点。
- ② 動作中に確認を行わなければならないために動作が影響を受ける可能性があるという点。

これらの問題を解決するため、VTR を用いた「視覚的フィードバック」が現場で活用されるようになってきた(四宮・黒田, 1970; 吉原, 1970; 和田, 1979)。VTR を用いた場合、さまざまな視点から映像を撮影することができ、また運動経過の過程を繰り返し再現可能であった(吉原, 1970)。したがって、上記に挙げた鏡の利用の問題点を解決することができた。こうしたことから、VTR を用いた「視覚的フィードバック」はテニス(Van et al., 1989; Ruhil et al., 2012)、ゴルフ(Guadagnol et al., 2002)、体操競技(Eva et al., 2009)などさまざまなスポーツに利用されると同時に、その効果が実証されてきた。

しかしながら、VTR を用いた「視覚的フィードバック」では、選手のニーズ(パフォーマンスを向上させること)を満たすために必要とされる目標動作と自身の動作との「ずれ」を十分に把握することはできない。木村ほか(2007)は動作学習のプロセスについて、

- ① 目標動作を観察して動作イメージを構築する段階。
- ② 実際に動作を実施する段階。
- ③ 目標動作と学習者自身の動作のずれを把握する段階。

以上 3 つの段階を挙げており、これらを繰り返すことによって効率的な動作学習が可能になると述べている。しかし、VTR を用いた「視覚的フィードバック」では、③の「目標動作と学習者自身の動作のずれを把握する」という段階を十分に踏むことができないため、動作の習得を支援する方法としては不十分であるといえる。これら 3 つの段階を全て踏み、選手のニーズに応えるためには、「目標動作を視覚的に表現し、さらに選手自身の動作とその目標動作とのずれを把握できるシステム」が必要であると考えられる。

こうした動作指導の問題点を解決するため、「視覚的フィードバック」を用いたスポーツ動作の習得支援システムが報告されるようになってきた(篁ほか, 2003; 宮西, 2005; Philip and Noel, 2012; 三上ほか, 2012; 石井ほか, 2012, 2015)。これらのシステムは以下 2 種類のシステムに大別することが可能である。

- ① 3次元の動作データを用いたシステム(以下、3D-Sと表記)(宮西, 2005; Philip and Noel, 2012; 石井ほか, 2012, 2015)
- ② 2次元の動作データを用いたシステム(以下、2D-Sと表記)(篁ほか, 2003; 三上ほか, 2012)

3D-Sでは、3次元動作分析装置などの高価な機器によって3次元データを得るため、精巧かつ立体的な目標動作を提案できる。一方、2D-Sでは、家庭用デジタルビデオカメラ(以下、デジカメ)などの比較的安価な機器によって2次元データを得るため、平面的な目標動作を提案する。一見すると3D-Sの方が動作習得においては有効であると思われるが、3次元動作分析装置を利用した「視覚的フィードバック」には2つの問題があった。一つは、こうした装置が一般的に高価であり、スポーツ現場で手軽に設置することが難しいことであり、もう一つは撮影から解析までの労力が甚大であり、選手へのフィードバックに多大な時間がかかることであった。一方、2D-Sではデジカメなどの安価な機器を用いているため、現場で簡便に撮影でき、選手への素早いフィードバックが可能である。したがって、より現場向きであるのは2D-Sであるといえる。

これまでに報告されてきた2D-Sは、「他者のお手本動作と自身の動作とを比較する」というものが多かった(篁ほか, 2003; 三上ほか, 2012)。しかし、自分自身の動作の中からよりよい動作パターンとより悪い動作パターンを統計学的に抽出し、それらの動作を短時間かつ視覚的に比較できるシステムは、我々が渉猟し得た範囲では皆無であった。

そこで本研究の目的は、デジカメを利用して、「現場で素早く動作分析ができ、その選手にとってのよりよい動作を提案できるシステム」を開発することとした。本稿ではジュニアテニス選手のサーブ動作の分析例を提示し、システムの介入効果を検討した。

II. 研究方法

この章では、まずシステムの開発方法について述べ、その後にシステムの介入方法について述べる。

1. システムの開発

(1) 開発コンセプト

開発したシステムを最終的に利用するユーザーは、現場の選手やその指導者であることを想定した。そのため、ユーザーへの負担を極力減らすことを目標にシステムの開発を行った。システムを利用する際にユーザーの必要な作業(図1)は

- ① デジカメと三脚を用いてサーブ動作を撮影すること。
- ② サーブ動作の成功(イン)と失敗(フォルト)を動画に記録するため、カメラの前で青旗(イン)と赤旗(フォルト)を振ること。
- ③ 動画をパソコンに転送(転送方法は任意)し、プログラムで呼び込むこと。

という3点とし、その他の画像処理や統計処理はシステム内のプログラムで自動化するというコンセプトで開発を行った。

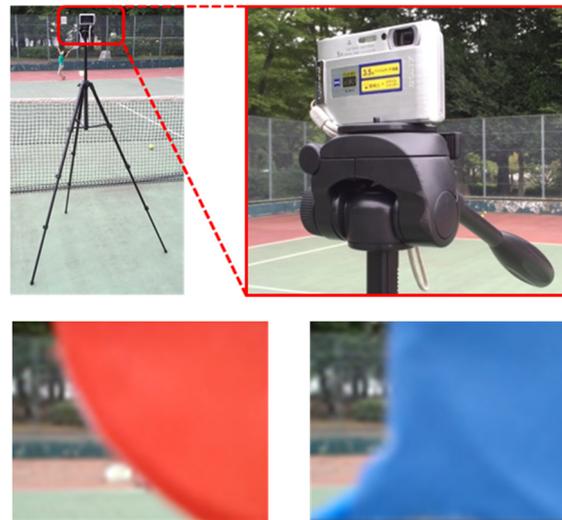


図 1 データの収集

ユーザーは三脚で固定したデジカメでサーブ動作を撮影し、その成功と失敗の情報を色のついた旗を振ることで動画に記録する(赤旗:フォルト 青旗:イン)。

(2) プログラムの概要

システムの基幹プログラムの開発において、プログラム言語は「Python」、画像処理ライブラリは「OpenCV」、機械学習ライブラリは「Scikit-learn」を用いた。システムが実行されると、撮影された動画の中からサーブ動作のインパクトフレームが自動的に検出され、インパクトフレームから前後 40 フレームが自動的に切り取られ、関心領域がデータベースに自動的に入力される(図 2)。具体的な処理としては、「OpenCV」に同梱されている画像処理アルゴリズムを利用して、動画内の色空間を「色相(Hue)」「彩度(Saturation)」「明度(Value)」からなる HSV 色空間に変換し、テニスボールの色情報を抽出することでボールの座標を取得する。このボールの軌跡の水平成分を微分して、閾値以上に変化するところをインパクトフレームとして検出する。インパクトフレームを基準に、その前後 40 フレームの指定領域の画素情報がサーブ動作として切り出され、データベースに入力される。また、サーブの成否の情報も同様に色情報として抽出され、データベースに 2 値データとして入力される。



図 2 関心領域の抽出

ボールをインパクトしているフレーム(黄枠)が自動的に検出され、その前後 40 フレームとユーザーが指定した領域(赤枠)が自動的に切り出される。

システム内にデータベースが構築されると、動作分析が自動的に行われる。具体的には、「Scikit-learn」に同梱されている機械学習アルゴリズムを利用して、データベースの画素情報に主成分分析を行い、被験者の姿勢情報(=画素情報)の主成分を抽出する。動画撮影は三脚で固定して行われるため、背景は分散をほとんど持たず、主成分分析において背景は大きな影響を及ぼさない。各主成分得点とサーブの成否との相関係数が自動的に算出され、相関係数の高い順に主成分がソートされる。相関係数の高い方から3番目までの主成分得点を操作することで、サーブが成功しやすい姿勢パターンとサーブが失敗しやすい姿勢パターンが作成される。

動作分析が完了すると、分析結果がビジュアライズされる処理が行われる。主成分分析で作成された画像は辺縁が不明瞭になってしまうため、画像をできる限り鮮明に表示させる目的で k 近傍法(k=1)を行った。この手法により、主成分分析で求められたパターンに最も近い試技情報がデータベースから抽出される。そして、サーブの成功しやすい試技と失敗しやすい試技を画像上で重ね合わせて表示し、ユーザーに両者の違いがわかりやすくなるように工夫した(図 4-1, 図 4-2)。

なお、今回の例では「動画撮影後にデジカメからコンピュータに画像を転送し、プログラムの実行ボタンを押すまでにかかった時間」と「プログラムの実行ボタンを押してから、最終解析結果が表示されるまでにかかった時間」はどちらもおよそ数分以内であった。

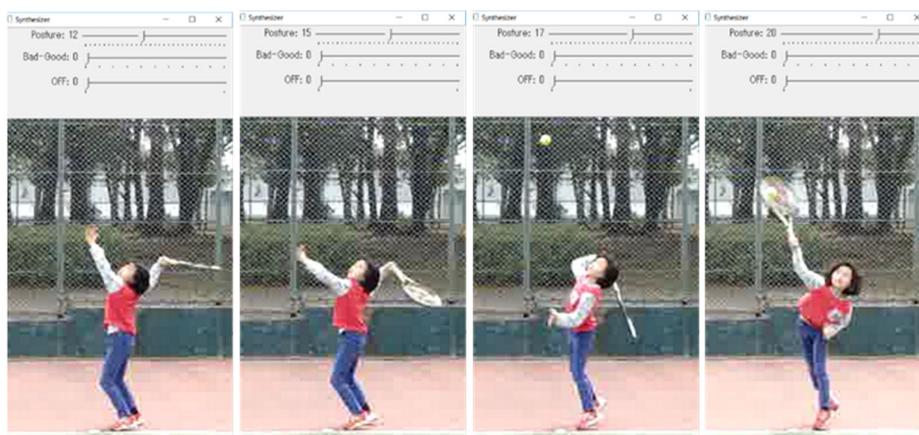


図 3 フェーズの変更

ユーザーは、最上段のスライドバーを左右に動かすことで、任意のフェーズを描出できる。

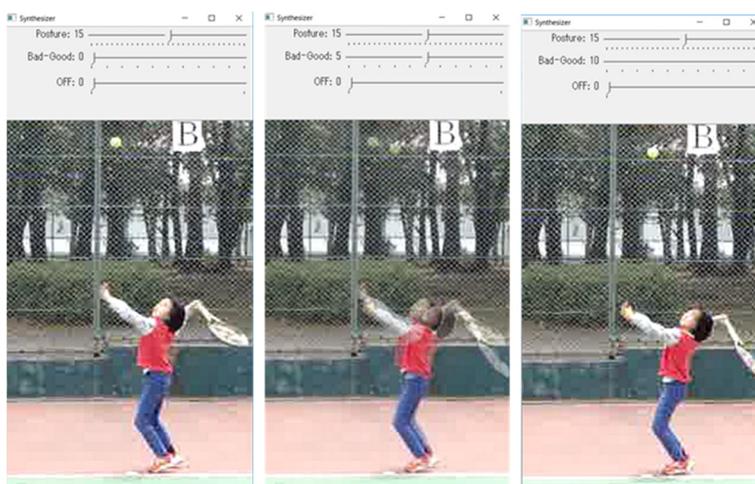


図 4-1 姿勢の比較(トスアップ)



図 4-2 姿勢の比較(インパクト) 中段のスライドバーの操作。
 左図 : 左側に動かすと、サーブが失敗しやすい姿勢が描出される。
 中央図: 中央付近にあるときは、両方の姿勢が表示される。
 右図 : 右側に動かすと、サーブが成功しやすい姿勢が描出される。

(3) ユーザーインターフェース

ユーザーは、最上段のスライドバーを左右に動かすことで、任意のフェーズを描出できる(図 3)。中段のスライドバーを右側に動かすと、そのフェーズにおいてサーブが成功しやすい姿勢が描出され、左側に動かすと、サーブが失敗しやすい姿勢が描出される。スライドバーを中央に置くと、両方の姿勢が重なって表示される(図 4-1, 図 4-2)。最下段のスライドバーを右側に動かすと、システムが終了するとともに、最後に描出された特徴的な姿勢情報が動画として保存される(動画 1, 動画 2)。この動画は AVI 形式であり、通常のパソコンで閲覧することができ、メールや SNS で選手に配信することもできる。実際に選手と指導者がメールで送られた動画を閲覧している様子を図 5 に示す。



図 5 選手(左)と指導者(右)が分析結果を閲覧している様子

2. システムの介入方法

(1) 動作の撮影方法

男子ジュニアテニス選手 1 名を対象とした(年齢:8 歳, 身長:130cm, 体重 25kg, テニス競技歴:4 年)。なお, 本研究は筑波大学人間系研究倫理委員会の承認を得て実施した。

まず, サーブの開始位置は選手が普段からサーブを行っている位置とし, その部位にビニールテープで印をつけた。被験者には左足のつま先をビニールテープに合わすことのみを指示し, あとは自由にサーブを打つように伝えた。サーブの球種は 1 種類(フラットサーブ)とした。

デジカメと三脚を用いて, ネットを挟んだ正面からサーブ動作を 10 試技撮影した(図 1)。今回は, 試技数は 10 試技, カメラのフレームレートは 30fps に設定したが, 基本的に試技数やフレームレートは任意に設定できる。試技ごとにサーブがサービスエリアに入らなかった場合は「フォルト:失敗」として赤旗を振り, サービスエリアに入った場合は「イン:成功」として青旗を振り, それらを映像内に記録した(図 1)。撮影した動画をシステムに入力し, プログラムを実行した。

(2) 解析結果のフィードバック

被験者へのフィードバックは, 撮影した当日から即座に開始した(図 3, 図 4-1, 図 4-2)。被験者はシステムのスライドバーを自ら操作し, 自身のサーブ動作における成功パターンと失敗パターンの両方を閲覧した。また, 被験者の保護者には作成された AVI 動画をメールで送信し, 保護者のパソコンやタブレット端末でも随時閲覧できるようにした(図 5)。被験者と保護者には, 1 週間に 1 回程度はこの AVI 動画を閲覧するように指示し, この動画を意識しながらサーブ練習を行うように伝えた。介入直前のサーブ動作と介入 3 か月後のサーブ動作の変容を動画で確認した。

III. 結果

1. 姿勢パターンの描出結果

本システムでは, スライドバーを操作することによって, 任意のフェーズのサーブ姿勢の違いを閲覧できるが, 本稿ではその中で特徴的であった 2 つのフェーズを図 4-1, 図 4-2 に静止画で示した。図 4-1 は, インパクトから 5 フレーム(0.17 秒)前の映像であり, この姿勢を「トスアップ」と定義した。図 4-2 はインパクトフレームの映像であり, この姿勢を「インパクト」と定義した。

図 4-1 の左図に, トスアップにおいて被験者のサーブが失敗しやすい姿勢を示し, 図 4-1 の右図に, サーブが成功しやすい姿勢を示した。また, 図 4-1 の中央図と[動画 1](#)にその 2 つの静止画を重ねた画像を示した。

図 4-2 の左図に, インパクトにおいて被験者のサーブが失敗しやすい姿勢を示し, 図 4-2 の右図に, サーブが成功しやすい姿勢を示した。また, 図 4-2 の中央図と[動画 2](#)にその 2 つの静止画を重ねた画像を示した。

2. 選手へのシステムの介入結果

システム介入前の典型的な動作を[動画 3](#)に示し, 介入 3 カ月後における典型的な動作を[動画 4](#)に示した。

[動画 3](#)では、身体の姿勢が画像上の左方に傾いていた。一方、[動画 4](#)では介入前に問題になっていた身体の傾きが修正されていた。

IV. 考察

1. それぞれの姿勢パターンの比較

両者の姿勢の比較において、違いが大きいところがサーブの成否と関連性が高い部位であることを意味する。トスアップでは身体の前後傾の姿勢に違いが見られた。サーブが失敗しやすい姿勢と成功しやすい姿勢を比べると、失敗しやすいほうは画像上の左方に身体が前傾していた(図 4-1)。トスアップで体幹をより反らせ、身体の重心が浮き上がらないようにすることで、サーブが成功しやすくなると推察された。

インパクトでもトスアップと同様に、身体の傾きに違いが見られた。サーブが失敗しやすい姿勢と成功しやすい姿勢を比べると、失敗しやすいほうは画像上の左方に身体が傾いていた。また、ラケット面の向きにも違いが見られた。インパクトで画像上の左方に身体が傾かないようにしつつ、ラケット面の向きを修正することで、サーブが成功しやすくなると推察された。

2. 開発したシステムの特徴

本研究では、デジカメを利用して、その選手にとって「よりよい動作を素早く提案するシステム」を開発した。開発したシステムはさまざまなスポーツ動作に適用できると考えられるが、本稿ではテニススクールに通っている一般的なジュニアテニス選手に対しシステムを導入した事例を報告した。本システムは開発してまだ間もないため、現段階で報告できる介入例はたったの 1 例であり、どのパフォーマンスがどの程度改善されるかという定量的かつ統計学的な検証は今後の課題である。

したがって、本稿ではシステムの介入効果よりは、開発事実に重きを置いて考察する。

今回開発したシステムの特徴は、以下の 5 点である。

- ① デジカメのような比較的安価の機器を利用し、簡便に動作分析ができること。
- ② 多くの選手にとっての理想的な動作を導くのではなく、その選手にとって必要な動作を導くという個別性を重要視していること。
- ③ 撮影した動作を入力してから、分析結果が描出されるまでにかかる時間は数分以内であり、迅速に選手にフィードバックできること。
- ④ 分析結果として求められた 2 つの姿勢は、1 つの画像内に重ねて表示されるため、姿勢の違いが直観的にわかりやすいこと。
- ⑤ ユーザーはスライドバーを操作するだけで姿勢の違いを確認でき、専門的な知識をもたない選手でも扱いやすいこと。

これらの特徴は、動作分析の結果を「その場ですぐに見たい。」という指導現場のニーズを満たすと思われる、スポーツにおける動作学習を効果的に支援するツールになると考えられた。

現行のプログラムでは、ある被験者内の変動を分析することで、その選手にとってのよりよい動作を見出しているが、現場では被験者間での比較や過去の動作との比較を行いたいというニーズもある。こうしたニーズに対しては、基幹プログラムを若干変更するだけで対応可能であり、今後は現場でのヒアリ

ングを行いつつ、柔軟に対応していく予定である。

本研究でシステムを導入した被験者は、介入 3 か月後に動作が明らかに変容した。しかし、マンパワーや時間的な問題で、介入した 3 か月間に一貫したプロトコールで球速やコントロールの詳細なデータを取ることが困難であったため、パフォーマンスに関する定量的な検証はできなかった。また、今回介入した例は 1 例であるため、今回の動作の変容がシステムだけの要因であるのか、その他の要因が影響しているのかを厳密に判別することはできなかった。今後は、介入例を増やしていくことで、システムの効果を多面的に検証していく予定である。

V. 結論

デジカメを利用して、現場で素早く動作分析ができ、その選手にとってのよりよい動作を提案できるシステムを開発した。

VI. 引用・参考文献

- ・ Eva Boyer, Raymond G Miltenberger, Catherine Batsche, Victoria Fogel. (2009) Video modeling by experts with video feedback to enhance gymnastics skills. *Journal of Applied Behavior Analysis*. 42(4):855-860.
- ・ Gadagnoli M, Holcomb W, Davis M (2002) The efficacy of video feedback for learning the golf swing. *Journal of Sports Science*. 20(8):615-622.
- ・ 石井壮郎, 松尾知之, 神事努, 平山大作, 青木慶, 宮川俊平 (2012) 病変を防ぎつつ球速を高めるための投球動作シミュレーション～投球動作を診断し治療する～. 日本機械学会シンポジウム. スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス講演論文集. pp.354-359.
- ・ 石井壮郎 (2015) 投球動作のモーション・シンセサイザ～障害予防を目指した統計モデルの活用～. *バイオメカニズム学会誌*. 39(1):1-6.
- ・ 篁俊一郎, 斎藤隆文, 田中秀幸 (2003) スポーツ指導のためのビデオ映像処理. *情報処理学会研究報告. グラフィクスと CAD (CG)*. 15(2):37-42.
- ・ 木村篤信, 黒田知宏, 眞鍋佳嗣, 千原國宏 (2007) 動作学習支援システムにおける視覚情報提示方法の一検討. *日本教育工学論文誌*. 30(4):293-303.
- ・ 三上弾, 松本鮎美, 門田浩二, 川村晴美, 小島明 (2013) 動作学習のための遅延同期ビデオフィードバックシステム. *研究報告, モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL)*. 2:1-8.
- ・ 宮西智久 (2005) 身体動作 3 次元 CG アニメーションを用いたスポーツ技術学習支援モデルの提案. *仙台大学研究紀要*. 36(2):1-10.
- ・ 難波一尚 (1970) 運動学習における視聴覚教材の活用法について. 20:224-226.
- ・ Philip Kelly, Noel E O'Connor (2012) Visualisation of tennis swings for coaching. *IEEE. 13th International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services*. pp.1-4.
- ・ Ruhil Razali, Edin Suwarganda, Izwan Zawaki (2012) The effect of direct video

feedback on performance of tennis serve. 30th Annual Conference of Biomechanics in Sports. 241-244.

- 四宮馨, 黒田浩(1970)大学一般体育におけるVTRの利用. 体育の科学. 20:233-235.
- Van Wieringen P.C, Emmen H.H, Bootsma R.J, Hoogesteger M, Whiting H.T,(1989) The effect of video feedback on the learning of the tennis service by intermediate players. Journal of Sports Science. 7(2):156-16
- 和田尚(1979)運動技能の指導と視覚情報. 体育の科学. 29:456-460.
- 吉原博之(1970)運動学習におけるVTRの活用. 体育の科学. 20:227-232.