

バイオメカニクスを応用した身体動作の学習と 指導方法に関する一研究

A Study of Applying Biomechanics to Learning and Teaching Physical Activities

植野 淳一*

Junichi Ueno

I はじめに

バイオメカニクスは、力学、生理学、解剖学等の基礎知識を活用して身体運動のからくりをより良く理解するための応用科学であり³⁾、人の動きを対象として医学やリハビリテーション、人間工学など広い分野で貢献している。特に、スポーツバイオメカニクスでは、身体運動は力学的法則に従うので、運動を力学的に解析することができ、得られた知見やバイオメカニクスの原則を応用することによって体育・スポーツに貢献できると考えられている。これまでは、様々な動作を指導する場合、指導者の長年にわたって培われた経験やカンによるところが大きかったが、学校現場においても、このようなバイオメカニクスの知見を加えて、体育の学習をより効果的・効率的なものにしようとする実践研究が始められている。

動作を習得していく過程については、自分の動作を目標とするよい動作になるべく近づけることから始まる訳であるが、具体的には、「まずよい動作のイメージを大脳に焼きつけ、イメージする動作と自分の行った動作とのずれを客観的に知り、そのずれを少なくすることによって動作を補正していく」²⁾のである。現在では、ビデオカメラ等の視聴覚機器の普及によって、実際に自分の動作を視覚を通して客観的にとらえることができるようになった。さらに、コンピューターが一般家庭にも登場するようになり、文字、画像、図表（静止画・動画）、音声を総合的に扱って、インタラクティブに対話しながら情報交換できるシステムであるマルチメディアの時代が到来したといっても過言ではない。学校体育においてもコンピューターを利用したマルチメディア教材が開発され一般化できるようになれば、自発的な学習活動の中で、学習者に有効なフィードバック情報を与えることが可能になると考えられる。

山下³⁾らは、木工作业におけるかな削り動作を一事例として、身体動作診断システムのマルチメディア教材の作成をめざし、音声によるナレーションとスティックピクチャーをアニメーションとして提示する動画を複合させたマルチメディア教材を試作した。筆者⁷⁾らも、運動場面における熟練者と未熟練者の身体動作について、動作解析コンピューターシステムを用いて基礎的資料を収集し、山下らと同様の手法においてマルチメディア教材の試作に取り組んでいる。さらに、そのマルチメディア教材によって学習しながら身体動作の診断をするための診断表を試作し、学習しながら診断もできる一連のマルチメディア教材による身体動作診断システムを完成させることを最終的な目的としている。

* 島根大学教育学部保健体育研究室

本研究では、バスケットボールのドリブル動作とシュート動作及び剣道の打突動作について熟練者と未熟練者の身体動作を三次元解析によりスティックピクチャーとして表わし、マルチメディア教材の動画として相応しいものであるかを検討するとともに、熟練者と未熟練者の身体動作の特徴を明確にすることによって、指導上のポイントを見いだすことを目的とした。

II 研究方法

1、バスケットボールのドリブル動作について

被験者（熟練者2名、未熟練者3名）にそれぞれ静止した状態でドリブルを行わせ、その動作を2台のハイスピードカメラ（ナック製）で撮影し、ビデオテープを三次元動作解析コンピューターシステムにより分析し、スティックピクチャーとして表わした。

(1) 実験期日

1996年11月20日

(2) 実験場所

島根大学第二体育館

(3) 被験者のプロフィール

被験者	身長	経験年数	利き手
A	170cm	8年（熟練者）	右
B	179cm	7年（熟練者）	右
C	183cm	6ヵ月（未熟練者）	右
D	170cm	0（未経験者）	右
E	181cm	0（未経験者）	右

(4) 撮影方法

撮影には、ハイスピードカメラHSV-1000（ナック製）を使用し、シャッタースピード1/500秒（毎秒500フレーム）で撮影を行った。被験者のドリブル動作が肩から指先まで画面に収まるようにカメラ2台をセットした。三次元解析では、被験者の正面から見た動作と側方から見た動作の2つの映像が必要になるため、それぞれ1台ずつカメラをセットした。被験者は、やや膝を曲げた姿勢で構え、ドリブル開始は「はい」という合図にあわせて行わせ、30秒間のドリブル動作を収録した。

被験者には入力点を18ポイント貼付した。入力点は右手上肢の肩、肘、手首とそれぞれの指の関節である。

(5) 分析方法

収録した画像を動作解析コンピューターシステムを用いて毎秒500フレームの映像で解析を行った。XY座標計測器で1画面ずつ入力点にカーソルを合わせてゆき、その測定値より被写体の三次元座標を求め、各計測点の速度や軌跡図、スティック図等を描かせた。

2、バスケットボールのシュート動作について

被験者（熟練者2名、未熟練者2名）に、シュート（フリースロー）をそれぞれ5本ずつ

連続してうたせ、その動作を2台のハイスピードカメラ（ナック製）で撮影し、ビデオテープを三次元動作解析コンピューターシステムにより分析し、スティックピクチャーとして表わした。

(1) 実験期日

1995年12月6日

(2) 実験場所

島根大学第二体育館

(3) 被験者のプロフィール

被験者	身長	経験年数	利き手
F	170cm	7年 (熟練者)	右
G	181cm	9年 (熟練者)	右
H	178cm	8ヵ月 (未熟練者)	右
I	170cm	0 (未経験者)	右

(4) 撮影方法

撮影には、ハイスピードカメラHSV-1000（ナック製）を使用し、シャッタースピード1/500秒（毎秒500フレーム）で撮影を行った。被験者のシュート動作が踵から指先まで画面に収まるようにカメラ2台をセットした。三次元解析では、被験者の正面から見た動作と側方から見た動作の2つの映像が必要になるため、それぞれ1台ずつカメラをセットした。シュートの開始は「はい」という合図にあわせて行わせ、5本ずつシュート動作を収録した。

被験者には入力点を10ポイント貼付した。入力点は喉仏、右手上肢の肩、肘、手首、指先、腰、太もも、膝、足首、爪先である。

(5) 分析方法

ドリブル動作と同様。

3、剣道の打突動作について

被験者（熟練者1名、未熟練者1名）に、正面打ちの動作をさせ、その動作を2台のハイスピードカメラ（ナック製）で撮影し、ビデオテープを三次元動作解析コンピューターシステムにより分析し、スティックピクチャーとして表わした。

(1) 実験期日

1995年11月5日

(2) 実験場所

島根大学第一体育館

(3) 被験者のプロフィール

被験者	身長	経験年数	取得段位
J	168cm	13年 (熟練者)	二段
K	182cm	0 (未熟練者)	なし

(4) 撮影方法

撮影には、ハイスピードカメラHSV-1000（ナック製）を使用し、シャッタースピード1/500秒（毎秒500フレーム）で撮影を行った。被験者の動作が剣先から足先まで画面に収まるようにカメラ2台をセットした。三次元解析では、被験者の左右斜め前方45度に、それぞれ1台ずつカメラをセットした。

打突に際しては、構えから打突部位までの距離を一足一刀の間合いに限定し、足は継がずにその場から打突動作に入るようにさせた。竹刀の長さは三尺八寸（約116cm）、重さ500グラムに限定し同じ竹刀を使用させた。

被験者には入力点を22ポイント貼付し、入力点の貼付位置を図1に、撮影機材の設置位置を図2に示した。

(5) 分析方法

シュート動作及びドリブル動作と同様。

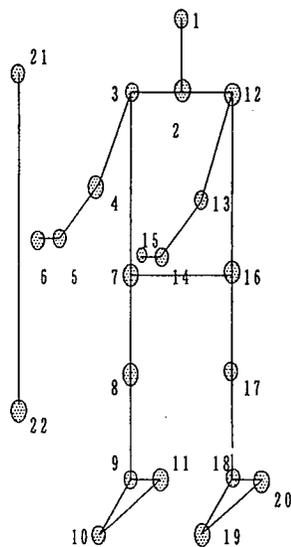


図1. 入力点の張付位置

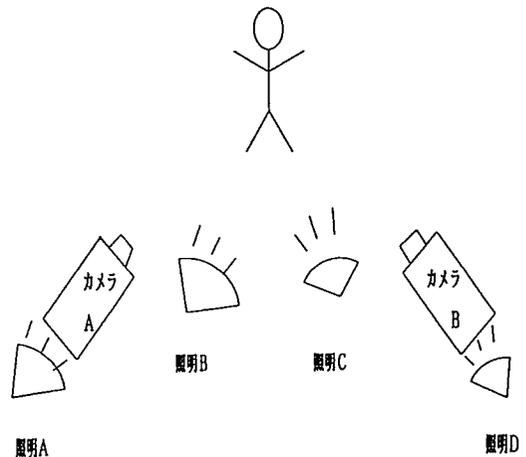


図2 撮影機材設置位置

(注) 照明Aと照明Dはマーカの反射光がうまくカメラに戻ってくるようにするためのもので、カメラの真後ろに設置する。

III 結果及び考察

ハイスピードカメラで撮影したバスケットボールのドリブル動作、バスケットボールのシュート動作、剣道の打突動作のビデオテープをもとに三次元動作解析コンピューターシステムによりそれぞれの動作をスティックピクチャーとして表わし、熟練者と未熟練者の身体動作の特徴を明らかにした。

1、バスケットボールのドリブル動作について

図3は、熟練者Aのドリブル動作を、図4は、未熟練者Cのドリブル動作をそれぞれ右側方部よりスティックピクチャーとして表わしたものである。図5及び図6は、熟練者と未熟練者のドリブル動作を前方よりそれぞれ表わしたものである。被験者5名のうち、熟練者2名についてはほぼ同様な動作であったため、Aのドリブル動作を採用した。未熟練者につい

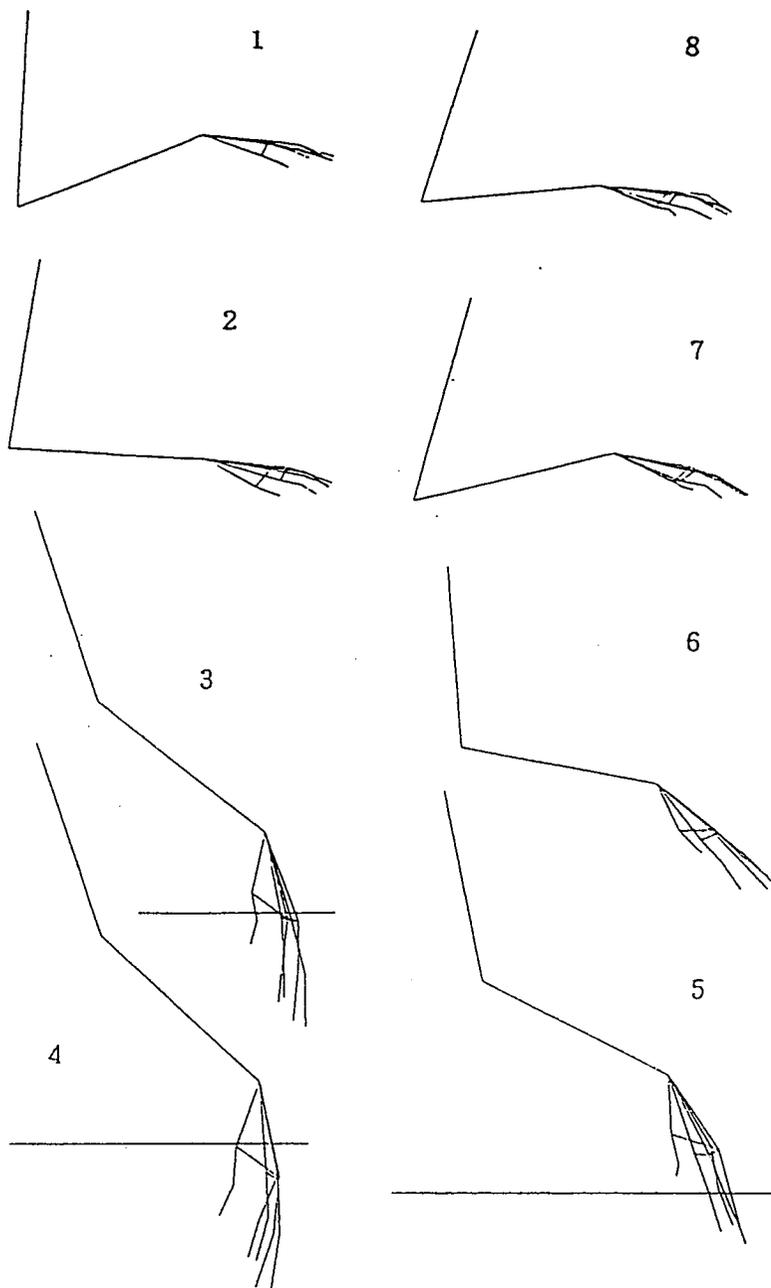


図3. 右側方から見た熟練者Aのドリブル動作のスティックピクチャー

ではDとEのドリブル動作が、ボールを支え持つような特殊なドリブルであったためCのドリブル動作を採用した。スティックピクチャーは、1回のドリブル動作、つまりボールを突き出し（突き出し局面）てから再び手のひらでコントロールする（受け止め局面）までの400～500フレームから8つの画像のスティック図を抽出しプリントアウトした。

図3の1～4まではボールの突き出し局面、5～8まではボールの受け止め局面を表わしている。熟練者は、ボールの突き出し局面において、肘をしっかり曲げ前腕を肘よりも高く上げ、手首を軽く折りながら柔らかくボールをコントロールしている。ボールを突き出す瞬

間でも肘は伸ばしきっておらず、手首のスナップ動作も見られることから、よくボールをコントロールしている動作であると推察される。ボールの受け止め局面でも、手首から先の部分でボールを柔らかくキャッチし、次第に肘関節を曲げながら引きつけてゆき、ボールが肘より高くなったところで終末局面を迎えている。

図4の未熟練者のボールの突き出し局面においては、手首のスナップ動作は見られず、ボールを肘より低い位置で扱っている。肘関節はほぼ伸びきった状態でボールを突き放すような動作であり、ボールとの接触時間も短いと推察される。

ボールの受け止め局面でも、手首は伸びたままであり、肘より低いところで終末局面を迎えている。

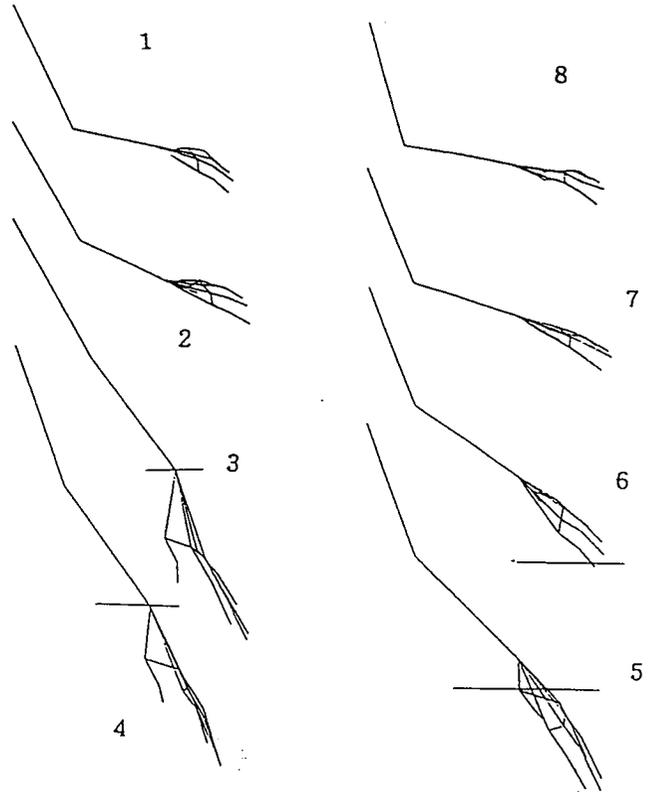


図4. 右側方から見た未熟練者Cのドリブル動作のスティックピクチャー

図5の熟練者のドリブル動作を前方から見たスティックピクチャーにおいても、右側方部と同様に、肘をしっかり曲げ、真上からボールをコントロールしながら押さえつけるような動作である。そして、ボールを突き出すまでボールと手のひら、指先を長く接触させ、ボール全体を包むようにして保持しているのが1と2のスティック図によく表れている。また、7と8のスティック図でも、肘を軸としてボールを真上に引き上げるように受け止めており、1と2の動作につなげる準備局面にもなっている。

図6の未熟練者のボールの突き出し局面においては、肘が張って脇があいた状態であり、ボールを押さえつけながら指先が右外側に向いている。ボールの受け止め局面でも、ボールを真上から引き上げることができておらず不安定な動作になっているものと推察される。

ドリブル動作のスティックピクチャーでは、ボールも同時に表わされた方が、学習者にとっても理解しやすいと思われるが、ボールの形をスティック図として読み込ませることが作業上困難であったことと、五指とボールが重なって見えにくくなると予想したことから、本研究では上肢のみの動作とした。しかしながら、右側方部と前方の2方向から同時にドリブル動作を見ることができ、かなり有効なドリブル動作の資料であると考えられる。

2、バスケットボールのシュート動作について

図7は、熟練者Gのシュート動作を、図8は、未熟練者Hのシュート動作をそれぞれ右側

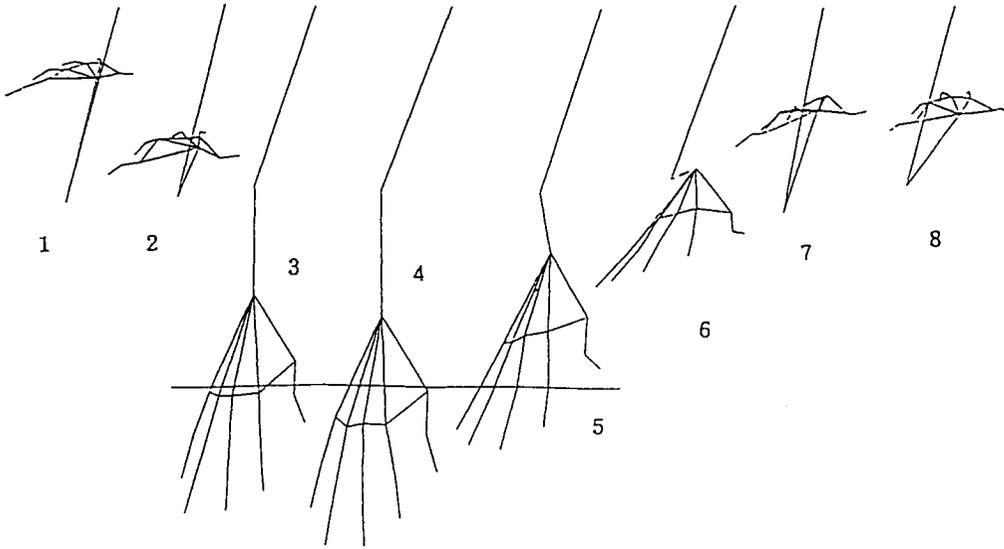


図5. 前方から見た熟練者Aのドリブル動作のスティックピクチャー

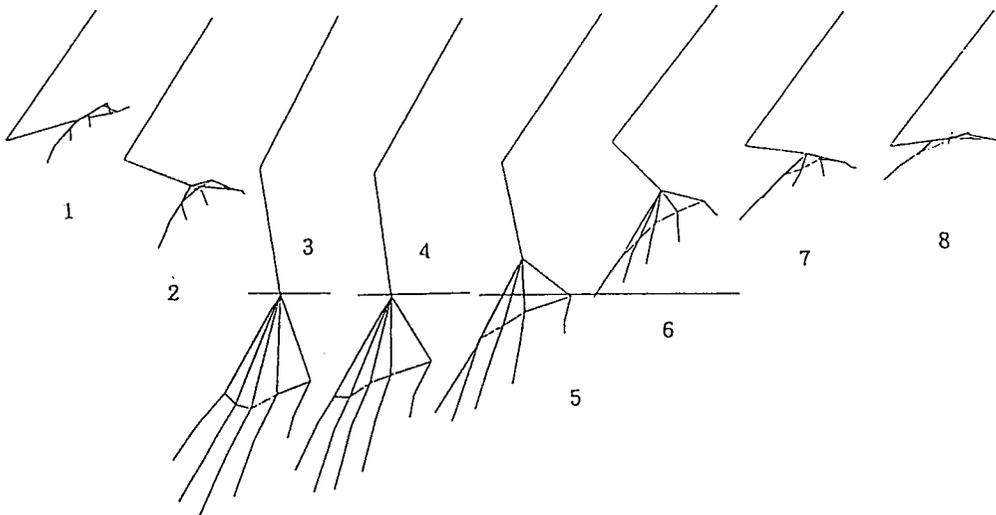


図6. 前方から見た未熟練者Cのドリブル動作のスティックピクチャー

方部よりスティックピクチャーとして表わしたものである。図9及び図10は、熟練者と未熟練者のシュート動作を連続のスティック図で右側方と前方よりそれぞれ表わしたものである。被験者4名のうち、熟練者2名についてはほぼ同様な動作であったため、Gのシュート動作を採用した。未熟練者についても同様の理由によりHのシュート動作を採用した。スティックピクチャーは、5本のシュートから平均的なフォームのシュート動作を1つ選び、リリース時を基準にして350~430フレームまで10フレーム間隔の8つの画像を抽出しプリントアウトした。

図7より、熟練者の肩角度は、2まではほぼ90度に保たれており、リリース時の5から9にかけては140度まで急激に増加している。肘角度は、ボールを構えた時の角度が56度であり、ボールリリース後の8で180度と最も大きくなっているが、その角度変化は一定であり

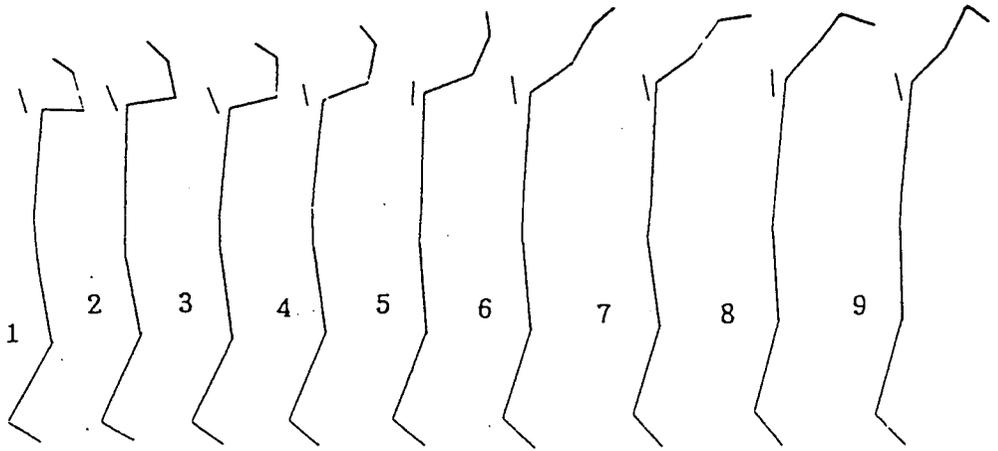


図7. 右側方から見た熟練者Gのシュート動作のスティックピクチャー

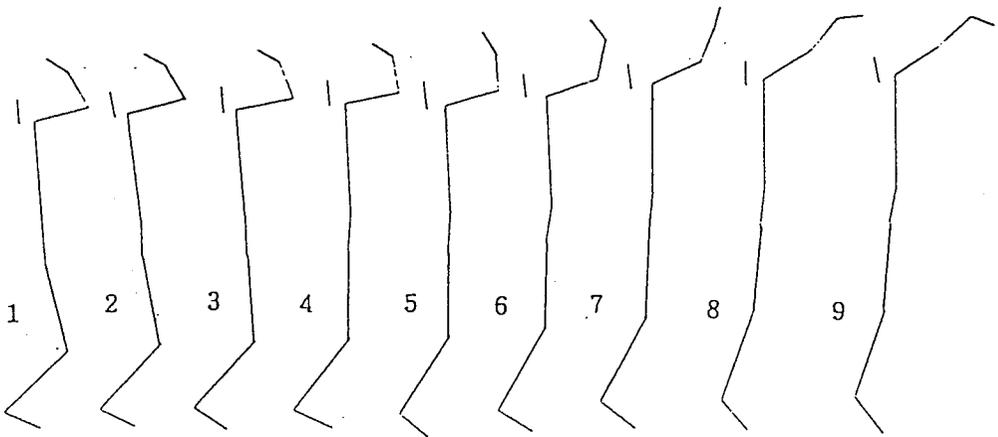


図8. 右側方から見た未熟練者Hのシュート動作のスティックピクチャー

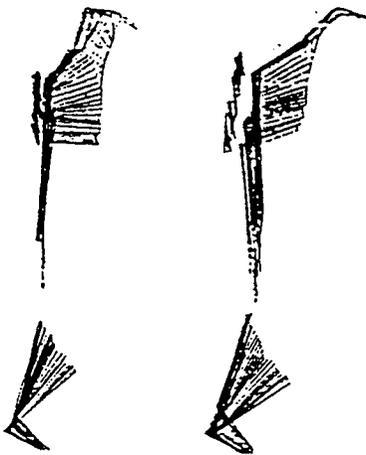


図9. 右側方から見た熟練者Gと未熟練者Hのシュート動作の連続スティック図



図10. 前方から見た熟練者Gと未熟練者Hのシュート動作の連続スティック図

上肢の動きはスムーズであると推察される。手首の角度はリリース時までには一定に保たれ、ボールリリース後からは急激に増加しており、スナップ動作が認められる。膝角度は、1では107度であり、ほぼ一定に角度が増加しながら8で168度と最も大きくなっている。

図8より、未熟練者の肩角度は、5まではほぼ100度に保たれており、リリース後も大きな角度変化は認められない。肘角度は、ボールを構えた時の角度が73度であり、ボールリリース後の9で180度と最も大きくなっているが、その角度変化は一定である。手首の角度はリリース後の6まで一定であるが、ボールリリース後の6においても角度の変化がないためスナップ動作は認められないと考えられる。膝角度は、1では98度とかなり深く曲げられており、7～9においては急激に角度が増加し、9で170度と最も大きくなっている。

図9の連続のスティック図を見てもわかるように、熟練者の上肢の動きは上方に押し上げられており、からだの軸もぶれていないのに対し、未熟練者の上肢は前方に突き出されており、からだの軸もかなり前方にぶれている。

図10は、前方からの連続のスティック図であるが、熟練者に比べて未熟練者の上肢は上下動が大きく、からだの軸が左右にもぶれていることがわかる。

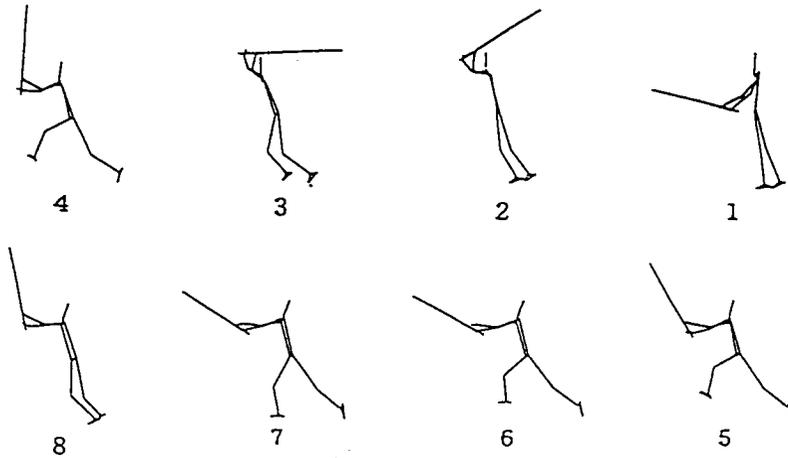


図11. 左側方から見た熟練者Jの正面打ち動作のスティックアニメーション

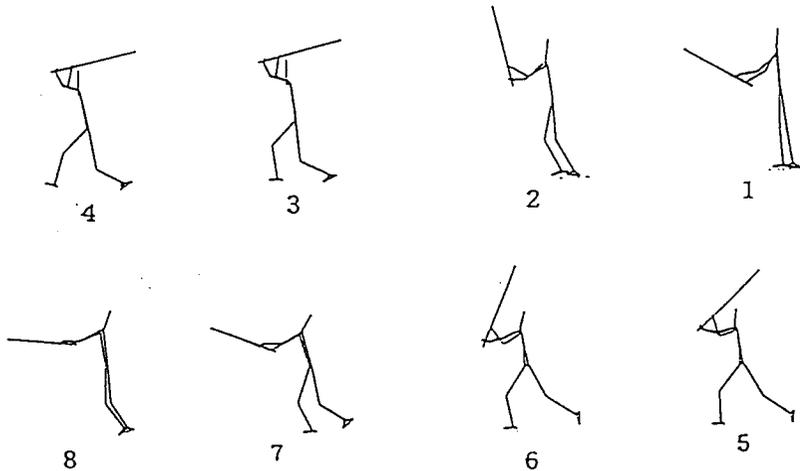


図12. 左側方から見た未熟練者Kの正面打ち動作のスティックアニメーション

シュート動作のスティックピクチャーでは、ボールも同時に表わされた方が、学習者にとって理解しやすいと思われる。特に、本研究のスティック図では、未熟練者である学習者が、熟練者と未熟練者の動作の比較をすることが困難であると推察されるため、ボールがゴールに届くまでの軌跡を描かせることによって、シュート動作のイメージがわかりやすいのではないかと考えられる。実際には、未熟練者の上肢は前方に押し出されているためボールの軌跡は低いものであった。先行研究では、右側方部からだけの分析であったが、本研究の三次元解析により前方からのシュート動作も同時に見ることができ、有効なシュート動作の資料が収集されたと考えられる。

3、剣道の打突動作について

図11は、熟練者の正面打ち動作を、図12は、未熟練者の正面打ち動作をそれぞれ左側方部よりスティックピクチャーとして表わしたものである。

剣道では、構えの姿勢は、竹刀が相手の喉元に向くようにし、背筋を伸ばし、左足の踵を上げ、右足の力強い踏み切りを支えるようにしなければならないとされている。

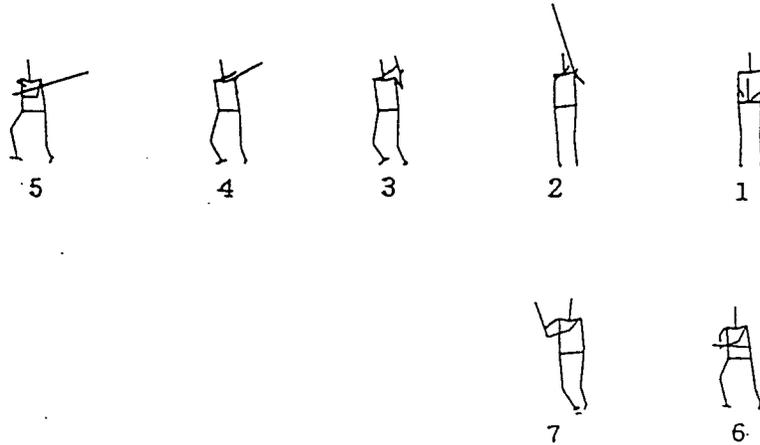


図13. 前方から見た熟練者Jの胴打ち動作のスティックアニメーション

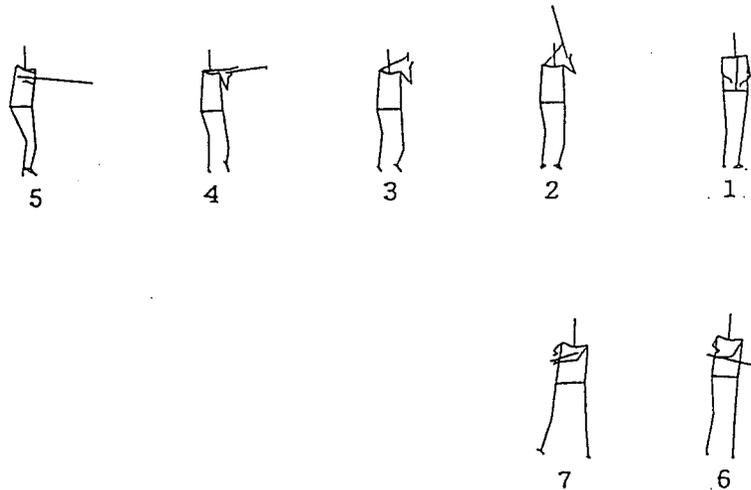


図14. 前方から見た未熟練者Kの胴打ち動作のスティックアニメーション

図11の熟練者の正面打ち動作では、竹刀が上段に振り上げられて（1～2）から打ち込むまで（2～6）のスピードが非常に速い。上体はやや前傾姿勢であり、踏み込む右足の歩幅が広く鋭い動作になっている。また、右足は打突直後も浮いている状態である。

図12の未熟練者の正面打ち動作では、竹刀が上段に振り上げられるまでの動作（1～3）と打ち込むまでの動作（3～7）がやや緩慢である。背筋は伸ばされているものの、踏み込む右足の歩幅が狭くあまり力強い動作になっていないと推察される。また、右足は打突よりも早く着床している状態である。

本研究では、熟練者と未熟練者の打突動作を三次元のスティックアニメーションにすることにより、あらゆる角度から被験者の動きを捕えることが可能になった。そして、指導のポイント毎に適した映像を取り出し、映像としてのイメージを描かせることができるのではないかと考えられる。剣道の正面打ち動作においては、左側方からの映像が最も適していると判断しスティック図に表わしたが、学習者にとっては様々な角度からの映像も必要になることもある訳であり、前方や上方からの資料も準備する必要がある。図13及び図14は、胴打ちのスティックアニメーションであるが、この動作については、前方からの映像が最もわかりやすいものであると推察される。また、全体的には、入力点が22と多かつたため入力の作業が非常に大変であった反面、より身体動作に近いスティックアニメーションに仕上がった。

IV まとめ

バスケットボールのドリブル動作、バスケットボールのシュート動作、剣道の打突動作を三次元動作解析コンピューターシステムによりスティックピクチャーとして表わし、マルチメディア教材作成のための基礎的資料を収集した。また、熟練者と未熟練者の身体動作の特徴を明らかにすることによって、学習者のためのいくつかの指導上のポイントと教材作成の留意点を次のようにまとめることができた。

未熟練者の動作を指導する際のポイントについて

1、バスケットボールのドリブル動作

- (1) 肘をしっかり曲げ、指を大きく開いて、ボール全体を包むようにして真上からボールを押さえつけ（長くボールに接触させ）ながら突き出す。
- (2) 手首を柔らかくし、スナップ動作を入れる。
- (3) 肘を軸として、ボールを真上に引き上げるように受け止める。

2、バスケットボールのシュート動作

- (1) ボールがゴールに届くまでの軌跡をイメージし、膝でタイミングを取りながらシュート動作を始動する。
- (2) からだの軸がぶれないようにし、上肢をリラックスさせ押し上げるように前腕を伸ばしてゆく。
- (3) 手首を柔らかくし、スナップ動作を行う。

3、剣道の打突動作

- (1) 竹刀を上段に振り上げる動作と打ち込む動作を敏速に行う。
- (2) 上体をやや前傾姿勢にし、踏み込む右足の歩幅を広く鋭い動作で打ち込んでいく。

マルチメディア教材作成のための留意点について

- 1、ドリブル動作やシュート動作のスティックピクチャーでは、ボールも同時に表わされた方が、学習者にとっては理解しやすい。
- 2、シュートについては、ボールがゴールに届くまでの軌跡を描かせた方が、動作全体のイメージもつかみやすい。
- 3、入力点を多くして、より身体動作に近いスティックアニメーションを描かせる。
- 4、学習者にとっては様々な角度からの映像が必要になることもあり、前方や上方からの資料も準備する必要がある。
- 5、熟練者と未熟練者の身体動作の違いをわかりやすくするために、同一画面上に同時にスティックアニメーションを描かせるなどの工夫が必要である。

本研究で製作したスティックアニメーションを使用して、視覚的に熟練者と未熟練者の身体動作の違いを理解させ、イメージづくりのための教材として活用することを目的として研究を進めているが、現段階で、このスティックアニメーションをパソコン内に映し出すためには、「MOVIAS」というソフトがインストールされていることが必要条件である。しかし、現状では、このソフトが学校に備え付けてあるわけではないので、学校で教材として活用できるように「ANIMAX」というソフトを使い、文字や音声などを取り込みながらスティックアニメーションを表示できるフロッピーを作成することが必要である。

今後行う作業としては、本研究で作成したスティックピクチャーを記録紙上に描かせ、この図をイメージスキャナーで読み込む作業を行い、取り込んだ絵を「Z's staff Kid 98」によって1枚1枚の絵に分けて製作してゆくことになる。

謝 辞

本研究の撮影、データ処理に協力いただいた平成7年度島根大学卒業生吉川真由美さんと平成8年度卒業生山本健治君・高槻浩之君に厚くお礼を申し上げます。

V 参考文献

- 1) 阿江通良 (1995) バイオメカニクスからみた運動学. 体育の科学 45:118-120.
- 2) 深代千之 (1988) 幼少年期の投げ動作と指導. 体育の科学 38:86-92.
- 3) 金子公有 (1982) スポーツバイオメカニクス入門. 杏林書院:東京, pp.12-13.
- 4) 高橋健夫編著 (1994) 体育の授業を創る. 大修館書店:東京, pp.174-177.
- 5) 高村達夫 (1994) バasketボールの授業. 体育科教育 9:34-369.
- 6) 豊島進太郎・星川 保 (1979) ボールの的当てからみた運動の制御. 身体運動の科学. 杏林書院:東京, pp.205-212.
- 7) 植野淳一・渡辺悦男他 (1988) バasketボールの学習指導に関する研究—フリースローの学習による動作の変化—. 島根大学教育学部紀要 (教育科学) 20:1-15.
- 8) 山下晃功 (1988) 動作解析コンピューターシステムによるかな削り作業の動作分析. 木材学会誌 34-3:222-227.