

学生が作成した二次元動作解析ソフトの有用性

日比 端洋*, ゴー ホアング タック**, 高田 英治***, 松井 紳一郎*

The validity of 2D motion-analysis program developed by a student of
Toyama National College of Technology

HIBI Naohiro*
NGO Hoang Thac**
TAKADA Eiji***
MATSUI Shinichiro*

The purpose of this research is to verify the validity of the motion processing program that our student developed for his graduation thesis. Motion processing software is an efficient tool to help improve our students' sporting ability, however, products on the market are not affordable, which motivated the student to create a program of his own. The program was written in Visual C#.net codes by incorporating free software that converts video images into AVI converting library. Almost all two-dimensional position coordinates provided by the program matched those on the video images. The angle between the joints and its angular velocity at the measurement points in actual movement operation calculated by the program also corresponded to those processed by commercial software. These results of the experiments proved the validity and efficiency of the program. Since it is satisfactory in performance as well as in price, we can put it into practical use as a useful instructional tool in the physical education.

キーワード 動作解析ソフト, 卒業研究, 学生教育, 低価格, 体育教育

1. 緒言

スポーツ競技場において、動作解析は記録の向上や勝利を得るために欠かすことのできないものとなっている。加えて、ビデオカメラ等の撮影機材の発達により正確で細かな解析が可能となり、選手の故障原因の研究にも用いられている⁽⁹⁾。特にキックや打撃フォームのように身体の捻じれを伴う運動の研究^(6, 7, 10)では、複数台の高速カメラを用いて三次元で動作を分析している。しかしながら、そのような解析を行うための機材やソフトウェアは、いずれも高価格で入手するのが難しい。また、矢状面内の運動^(5, 8)を解析するためには、二次元の解析を用いることが多くその場合、無

料の動作解析ソフトウェアもあるが、それらは機能が足りず、使いづらいという欠点がある。

そこで本研究は学生教育の一環として、無料ソフトウェアライブラリを用い、より機能が充実した動作解析プログラムを作成し、そのプログラムを実際に使用した時の有用性を確かめることを目的とした。学生の教育として十分な成果を上げることができたと同時に、安価な動作解析手法の構築により、体育教育への適用も可能であると考えている。

2. 作成した動作解析ソフトの概要

本研究ではビデオと静止画像との相互変換が可能なフリーソフト:A Simple C# Wrapper for the Avi File Library (Corinna John)を自作のVC#.netコードに取り込むことにより、動作解析ソフトを構築した。ソフトを使用するに当たっては動作解析対象の人物の測定対象部位にマーカー(反射体)を装着し、マーカーの動きをビデオとして撮影した。撮影には安価な高速度

* 一般教養科体育

e-mail: hibi@nc-toyama.ac.jp

**電気工学科(現在, 東京工業大学)

e-mail: nhthac@gmail.com

*** 専攻科

e-mail: takada@nc-toyama.ac.jp

カメラとしてキャノン EXILIM EX-F1 を用いた。

撮影後、ソフト中では次のような処理を行うこととした。ソフトは卒業研究生(タック)の卒研の一環として製作した。

Step 1:

AVI ファイルを bmp 静止画像に変換し、これらの静止画像を一枚ずつ解析する。

Step 2:

画像の処理範囲を決定し、マーカー部の抽出を行うため設定した閾値で二値化を行う。

Step 3:

輪郭線追跡法^{(1),(2)}を用い、ラベリングする。

Step 4:

ラベリングしたマーカーを時系列で並べ、各マーカーの軌道を描く。

Step 5:

求めた軌道を元の画像と重ね合わせ、ビデオを作成する。

Step 6:

各マーカーを連結し、スティックピクチャーを作成する。

Step 7.:

各連結成分(関節)の中心座標を求める。

Step 8.:

元のビデオを再現するスティックピクチャービデオを作成し、関節の角度・角速度を求め、自動的にフリーの描画ソフト:gnuplot を用いて、グラフを描写する。

これらのステップによって得られたマーカーの座標変化から、動作解析に必要な関節角度、角速度等を算出することができる。

3. 解析結果

3.1 自転車漕ぎ運動の結果

図1はマーカーを体の各部位につけた運動者の動きをビデオ撮影し、本研究で作成したプログラムを用いて導出した各測定点の自動追尾の結果である。各測定点の軌跡は、測定点の移動を示している。ここでは説明のために画像の照度、コントラストを調整し、見

やすくしたものを示している。実際に処理した画像は照度が非常に低く、マーカー部以外は肉眼での認識は難しい状態であった。図2は、自転車漕ぎ運動について各測定点の6周期の軌跡を示したものである。この図をみると、ペダルの中心は、円運動を行っておりかつ軌跡のばらつきはほとんど見られないことが分かる。この結果から、本システムがおおむね良好に動画処理を行えることが確認できた。

図3は、各測定点を結ぶことによって得られるスティックピクチャーである。このスティックピクチャーを用いることによって関節の角度情報等を得ることができる。



図1 エアロバイクによる運動を自動追尾した結果の一例

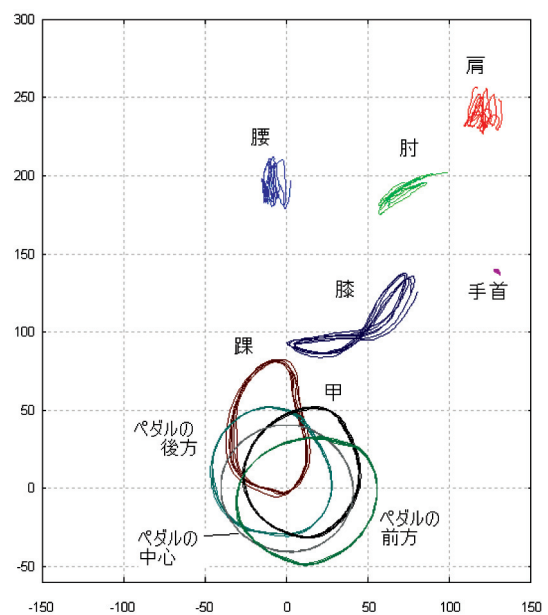


図2 エアロバイクによる運動を自動追尾した結果から導出した各測定点の軌跡

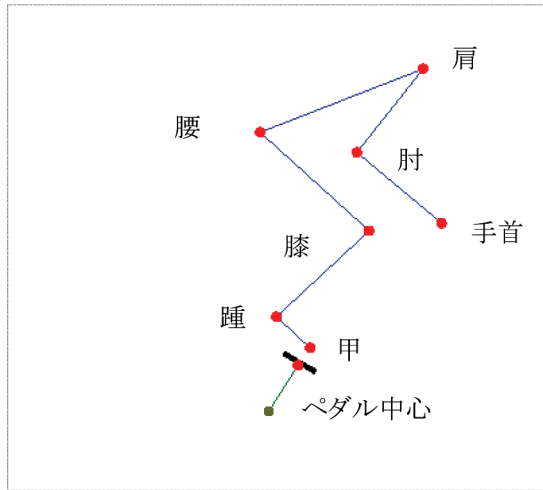


図3 エアロバイクによる運動を自動追尾した結果の測定点を結んで得られたスティックピクチャー

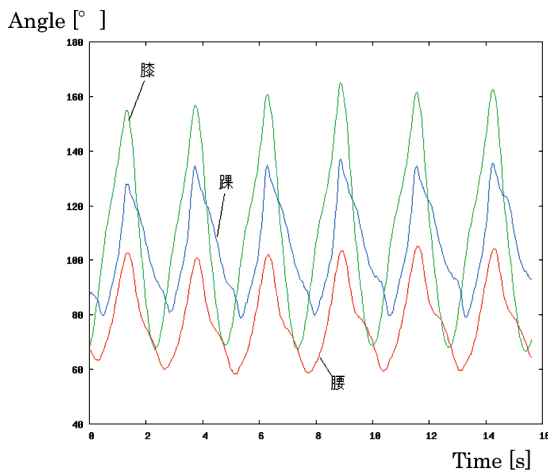


図4 エアロバイクによる運動のスティックピクチャーから求めた膝, 踝, 腰の各関節角度の経時変化

スティックピクチャーを用いてエアロバイクによる運動について、関節角度の経時変化を求めた結果を図4に示す。ここではペダルがほぼ頂点に達した時刻を0として示している。

膝関節角度は、ペダルが頂点にある時、約70度を示し、最下点に達した時、約160度を示した。踝は、ペダルが頂点にある時約85度を示し、最下点にある時、約130度を示した。腰(股関節)は、ペダルが頂点にある時、約85度を示し、最下点にある時、約100度を示した。それぞれの関節角度は、回転数が増してもほぼ同様の角度範囲で変化した。

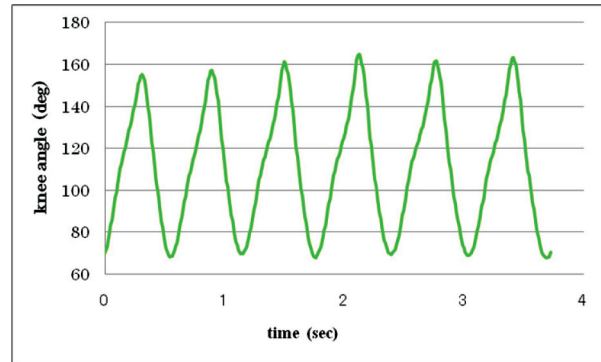


図5 市販のプログラムから算出した膝関節角度の経時変化

一方、市販の動作解析プログラム(DKH社、Frame Dias III)を用い、膝関節角度の経時変化を求めた結果を図5に示す。図4と比較すると、市販プログラムによる解析結果は今回開発したソフトによる解析結果と同様の傾向を示している。

図6は、本システムと市販ソフトの膝関節角度について解析結果を比較したものである。両者は、相関係数 $r=0.99996$ と非常に高い相関関係を示した。このことから本システムの解析の妥当性が示されたことになる。

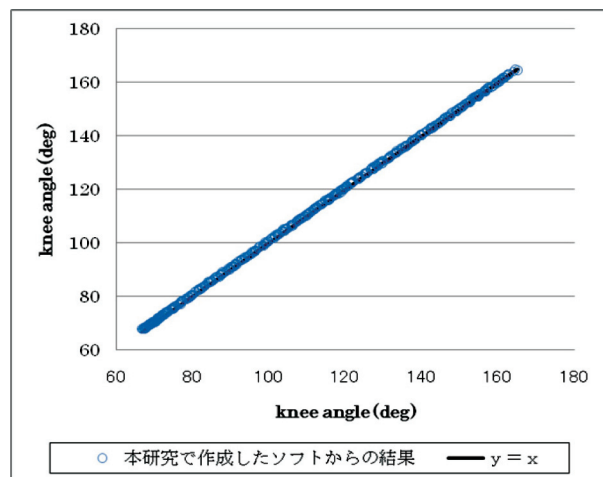


図6 本システムと市販ソフトの解析結果の比較

3.2 その他の運動への適用例

(1) ランニングフォームの解析への適用

本システムの妥当性を検討するため、いくつかの運動について処理を試みた。図7は、作成したプログラムを用いて熟練者と未熟練者のランニングフォームを比較した結果である。これを見ると、左側の非熟練者

のフォームでは足とヒザが軸の前に出てしまうので、体が遅れて重心の真下に接地することができず、地面からの反発力が打ち消されてしまうことが予想される。また、脚の軌跡幅が広いので、脚が後ろに流れてしまい、前へ運ぶために余計なエネルギーを使ってしまう。さらに、腕を後ろへ十分に振り上げないので、体を前に運ぶ力は生じない。(すなわち、推進力が得られないことが予想される。一方、右側の熟練者の軌跡をみると、各測定点のばらつきが少なく、特に外踝の軌跡は常に同じ位置を通っているのが分かる。また未熟練者に見られたような、ランニングに悪影響を及ぼすフォームの乱れが少ないことが見て取れる。今回製作したソフトは、安価でありながらこのような体育教育に適用可能な知見を得ることができ、その有用性が認められる。

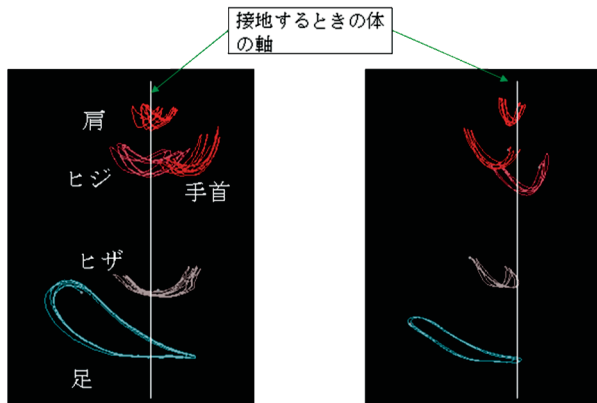


図7 ランニングフォームの比較
(右側:熟練者, 左側:未熟練者)

(2) シュートフォーム (バスケットボール) の解析への適用

作成したプログラムを用い、熟練者によるバスケットボールのシュート動作を解析した例を図7に示す。運動者は図上で左側を向き、左上にあるゴールに向け、シュートを行った。ここでは肘、頭、肩、腰、膝、足にマーカーを装着し、測定を行った結果を処理した。図の左側は通常のシュートフォーム、右側はジャンプシュートのフォームを解析した結果を示している。

左右の結果を比較すると、ジャンプシュートの際に飛び上がったことによる位置の平行移動が認められる。しかし、平行移動以外は各図中の関節が描いた軌道がほとんど一致しており、撮影対象がバスケットボールの熟練者であることを示す結果となっている。

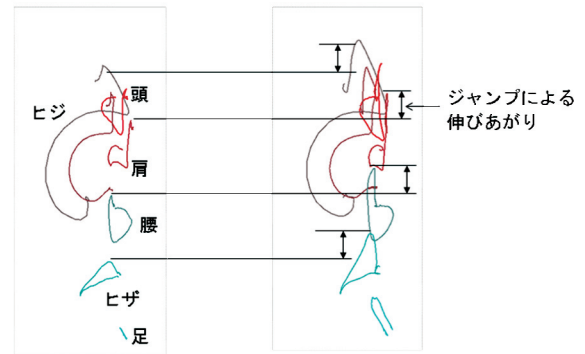


図8 シュート(バスケットボール)時のマーカーの軌跡

4. 考察とまとめ

作成したプログラムの妥当性を確認するために、いくつかの運動について撮影及び画像処理を行ったところ、測定点を外れることなく自動追尾できることが分かった。このことから、ここで用いた低価格高速度カメラと学生製作のプログラムの組み合わせにより、動作追跡のために想定したアルゴリズムが正常に動作していたということができる。

また、動作追跡の結果からペダルの中心が円運動をしていたことが読み取れた。このことは、較正に用いることができる既知の長さが画像内に映っていれば正確な較正ができることが示唆される。本実験では、既知の長さとして自転車エルゴメーターのクランク長を選択した。特に、クランクは運動中、様々な角度に変化するため、縦軸、横軸の較正が簡単にしかも正確に行われたものと考えられる。

測定点の軌跡を結ぶことによって得られるスティックピクチャーは、関節角度等を導き出すために有効な結果である。本研究においても関節角度は、スティックピクチャーをもとにして算出した。これは、測定点がそれぞれの関節の中心になるように決められており、かつ二値化から得られる座標は、これらの測定点の中心を見つけ出すようにプログラムされている。従って、各関節の中心を結ぶ直線が体分節の代表値となり得ると考えられる。

加えて、市販の動作解析プログラムを用いて膝関節角度の経時変化を算出した。この解析プログラムは、

百万円を超える値段で販売されており、立幅跳びの研究⁽⁸⁾でも用いられている。このプログラムと本研究で作成したプログラムの膝関節角度を比較した結果、両プログラムは、同様の角度変化を示していた。このことは、まさに本研究で作成したプログラムが市販されたプログラムと遜色がないことを示すものである。

比較的安価なビデオカメラを用いて撮影したデータをもとに熟練者、未熟練者の比較を行ったランニングフォームの実験では、それぞれの被検者に見られる特徴を簡単に見ることができた。このことは、競技場面などのフォームチェックの際に短時間で選手やコーチにフィードバックできる可能性を示唆しており、汎用性も高いプログラムが作成できたものと考えられる。

しかしながら、今回構築したシステムではカメラ性能の低さもあって、暗い環境で適切な照明をあてながら運動を行うことが必要であり、現状での欠点ということができよう。マーカーに発光物質や蓄光材料を用いることでカメラ感度の低さを補うことができれば、このような短所もある程度克服可能と考えられる。

また、これまでに開発したシステムが2次元運動を前提とした解析手法を用いているため、平面内での動作にのみ対応している。しかし実際の運動は平面内だけでマーカーが移動するとは限らない。そこで、今後は三次元解析にも対応したソフトウェアの開発が必要である。

今回製作したソフトによりある程度の動作解析が可能であることを確認できたので、今後は体育教育の現場において各種の運動に本システムを適用し、さらに問題点を抽出するとともに改善を行う予定である。

5. 引用文献

- (1) 酒井幸市, "デジタル画像処理の基礎と応用—基本概念から顔画像認識まで—", CQ 出版 (2007).
- (2) 酒井幸市, "画像処理とパターン認識入門 - 基礎から VC#/VC++ .NET によるプロジェクト作成まで -", 森北出版, (2006).
- (3) きたみあきこ, "かんたんプログラミング

VisualC#. NET 基礎編", 技術評論社, p361, (1999).

- (4) "A Simple C# Wrapper for the AviFile Library", <http://www.codeproject.com/KB/audio-video/avifilewrapper.aspx>.
- (5) Anthony P. Marsh, et. al "Is a joint moment-based Cost function associated with preferred cycling cadence?" *Journal of Biomechanics*, 33, 173-180 (2000).
- (6) 日比 端洋, 松井 紳一郎, ボールキック動作の分析, 富山工業高専紀要, 36, 61-66 (2001).
- (7) 石井 秀幸, 丸山 剛生, インサイドキックにおける足部外転角度とインパクト位置がボール挙動に及ぼす影響, *バイオメカニクス研究*, 12(1), 9-21 (2008).
- (8) 窪 康之, 阿江 通良, 力学的エネルギーからみた立幅跳の踏切動作における技術トレーニングの効果, *バイオメカニクス研究*, 9(4), pp205-216 (2005).
- (9) Susan Sigward, Christopher M.Powers, "The influence of experience on knee mechanics during side-step cutting in females" *Clinical Biomechanics*, 21, 740-747 (2006).
- (10) 田子 孝仁 他, 野球における打撃ポイントの高さが打撃動作に及ぼす影響, *バイオメカニクス研究*, 10(1), 2-13 (2006).

6. 謝辞

研究にあたり、運動データ取得に協力頂いた、2008年度電気工学科5年生の久保君、松尾君、高木君に深く感謝いたします。