

# 最小限の設備によるスポーツ動作解析

神田 毅 \*

## Sports Motion Analysis with Minimal Equipment

Takeshi KANDA \*

**Abstract:** This article considers sports motion analysis. The technique is already in practical use, but it requires special expensive facilities and is seldom used for club teams in schools. So, we pursue sports motion analysis with minimal equipment such as a computer, a digital camera and some colored tape. We also suggest that this research theme is suitable as a graduation study for students who major in information technology in a technical college. Several reasons are: many students are interested in sports, this research theme does not require much funding, and it includes various small research problems to be selected and solved by students themselves.

**Keyword** Motion Analysis, Image Processing, 3-D reconstruction, Statistical Analysis

### 1. 背景と目的

スポーツ動作解析は既に[1]のように研究成果もあり、実用化もされているが、設備の特殊さからごく一部のスポーツ指導現場以外では利用されにくい。そこで本稿では、[2][3]を継続し、低精度ながら身近な道具（図1のようなパソコン、デジタルカメラ、色テープ）で進められる手順を示す。これはプログラミング技術さえあれば少ない資金で済み、解析の各段階（対象スポーツ選定、対象動作選定、撮影条件検討、画像処理、幾何学的計算、統計処理）に適度に課題があり、情報専攻の高専生の卒業研究に適することを主張する[4]。



図1. 身近な道具

### 2. 動作解析手順

図2に概略を示す。色で着目部位を自動抽出するために色テープ等の目印を付け、動作をデジタルカメラで連続撮

影する。得られた全画像について、作成したプログラムによって色を手掛りに着目部位を抽出し、その重心の2次元座標を計算する。時系列データとなっていることを利用して、データの欠損等を補間する。部位間の距離をあらかじめ知っておき、三平方の定理を利用して、画像で判別できない奥行き方向の座標も推定する。本稿ではこれを3次元再構築と呼ぶ。通常は複数方向の撮影を利用して3次元構造を得るが、本稿では簡易さを追求するので、低精度であっても1方向だけの撮影で済みます。得られた3次元座標を元に、幾何学的な計算によって、競技経験者等の着目する何らかの特徴量（関節の角度、特定部位の速度等）を得る。それらを統計処理して、あらかじめ計画した比較対象（経験者と未経験者、疲労前後、アドバイス前後）の差などを検討する。

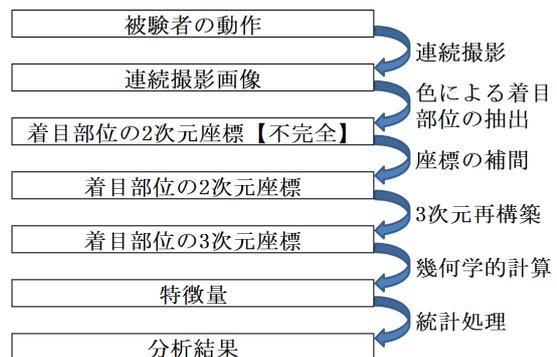


図2. 動作解析手順

\* 近畿大学工業高等専門学校

総合システム工学科 情報コミュニケーションコース

2. 1では、図2の「色による着目部位の抽出」の始めに行う「処理範囲の切り出し」、2. 2では、「色による着目部位の抽出」、2. 3では「座標の補間」、2. 4では「3次元再構築」について今回用いた手順を示す。2. 5では「幾何学的計算」、2. 6では「統計処理」について実例を示す。

### 2. 1. 処理範囲の切り出し

連続撮影画像を元に、図3の手順で必要な部分だけ残す処理を行うと、その後の着目部位抽出の精度がはるかに向上する。

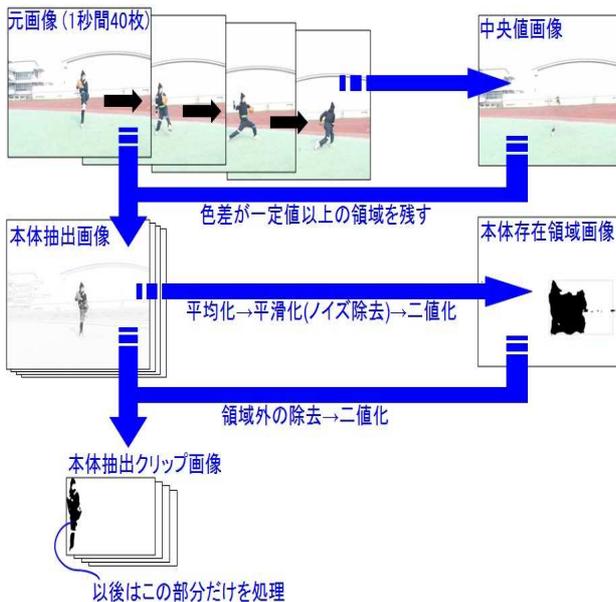


図3. 処理範囲の切り出し

ただし、カメラのブレにより背景が本体に混じることがある。逆に、色が比較的均一でかつ動きの遅い本体が、背景とみなされることがある。

### 2. 2. 着目部位の抽出

前段階で切り出された連続撮影画像に対して、着目する部位の座標を取得する。2. 2. 1では、それを手動で行う様子を示す。2. 2. 2では、色を利用して自動化する手順を、2. 2. 3では、自動化の誤りを減らすために一部を手動化する方針を示す。

#### 2. 2. 1. 全手動

表計算ソフトウェア Excel 上で画像を読み込んで、あらかじめ決めておいた着目部位をクリックすることで座標が記録されるように、Excel VBA 言語でプログラムを作成した(図4)。確実に座標を記録できるが、一連の動作につき数百回のクリックをしなければならない。

しかし、卒業研究を担当する立場からは、「色による着目部位の抽出」の自動化が未完成もしくは不完全な場合でも、このように手動で得たデータを次の段階に流し、卒業研究グループの各メンバーが並行して実験できることに意義がある。



図4. 手動で着目部位の座標を得る Excel の画面

#### 2. 2. 2. 色を利用した自動化

撮影時に被験者は彩度の高い色の目印を着目部位につけている。これを自動で抽出するために、まずは得られた連続撮影画像毎に、彩度が一定値以上の画素の色相の値を算出した。その色相の値は、ここでは 0(赤)~6(橙)~12(黄)~18(緑)~24(青)~30(紫)~0(赤) と設定した。そうして、全連続撮影画像での画素数極大となる色相を、目印の色と仮定した(図5)。この手順により全自動で何らかの出力が得られるが、仮定が安易なために、目視で確認すると誤抽出が多いことがわかった。

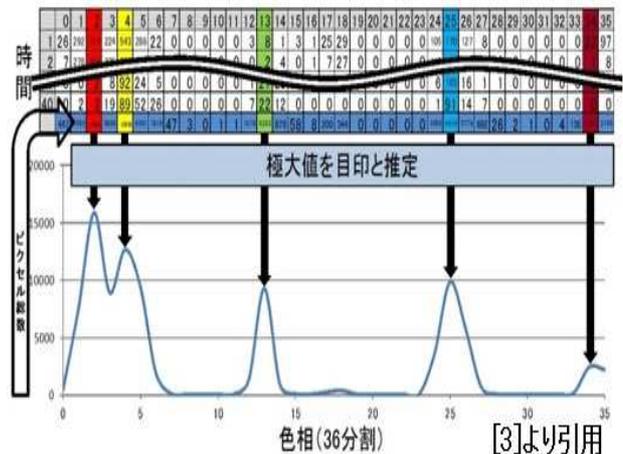


図5. 画素数極大の色相を目印とする様子

### 2. 2. 3. 誤抽出回避のための半自動化

目印の色を知るために、2. 2. 1の方法で連続撮影画像の内の1枚を見て、目印の座標を入力する。その色との差が一定値以内の画素を他の連続撮影画像で探すことにより、全連続撮影画像で目印の座標を得る(図6)。こうして手作業が一度必要になるものの、全連続撮影画像でクリックの作業を行う程ではなく、誤抽出は大幅に減った。

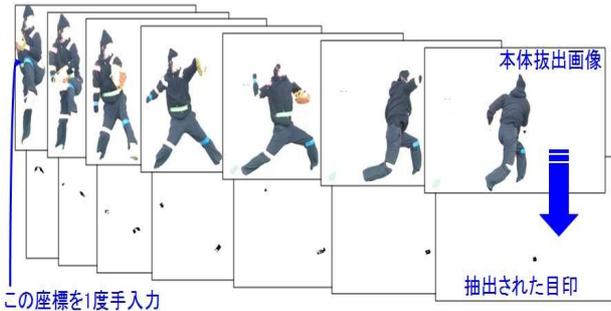


図6. 半自動化により目印を抽出する様子

### 2. 3. 座標の補間

前段階で抽出された目印は、座標と色を持っているが時間とともに変化するため、目印毎の対応関係をうまく判別する必要がある。なお、着目部位の個数が多いと、つけるテープの色も互いに類似しがちになるため、あらかじめ近い部位では極力大きく異なる色としている。ここで  $(x, y)$  座標と色の値を組にした高次元座標を作り、隣合う2時刻の全目印の対応を決めるときに、考え得る目印の対応関係全てについて移動距離の2乗和を算出し、その値が最も小さい対応が正しいとして採用した。図7は、その方法で接続してできた目印の時間推移である。

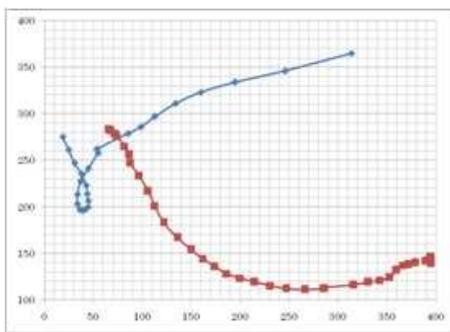


図7. 野球の投球時の右手首・左膝の時間変化

### 2. 4. 3次元再構築

前段階で得られた2次元座標から3次元座標を推定する問題を考える。まず、1枚の画像の中で着目すべき  $N$  箇所の部位の座標を

$$P_n(x_n, y_n, z_n) \quad (n=0, 1, \dots, N-1)$$

とする。ここでは  $(x, y)$  座標が既知だが、 $z$  座標が未知である。部位間距離、適正な角度、ねじれの情報を利用して、 $z$  座標を推定したい。ねじれの情報は現時点では利用していない。

人体骨格をグラフ理論のグラフとみなし、その枝の集合を  $\mathcal{E}$  とする。  $(s, e) \in \mathcal{E}$  は、節点  $P_s$  から節点  $P_e$  への枝があり、その2接点間の距離が設定されていることを意味する。その距離を  $l_{se}$  とすると、三平方の定理より

$$z_e - z_s = \pm \sqrt{l_{se}^2 - \{(x_e - x_s)^2 + (y_e - y_s)^2\}}$$

となる。複号には任意性があるが、 $\mathcal{E}$  の全ての要素について上式の+をとるか-をとるかを指定すれば  $z$  座標が全て算出できる。複号の+か-かの指定の組合せは  $2^{|\mathcal{E}|}$  通り

ある。通常は  $|\mathcal{E}|$  が約10、 $2^{|\mathcal{E}|}$  が1000程度になり、これらを全て試し、別に測定している関節角範囲を満たすものを残した。図8はこうして推定された3次元座標の例である。

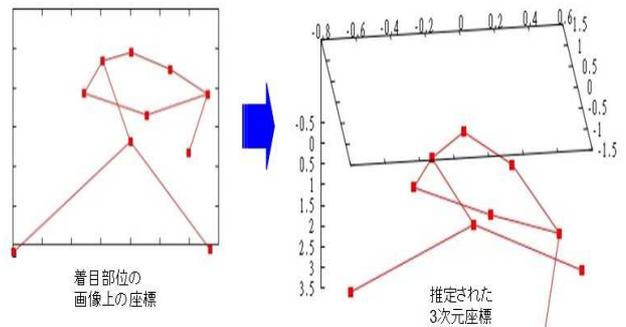


図8. 野球の素振りの3次元座標

### 2. 5. 幾何学的計算

この段階では、目印の座標を用いて幾何学的な計算をして、スポーツの現場で有益な情報を得ることを目指す。

その実例として、図9は、野球の素振りでの脇の角度の時間変化を算出し、野球経験なしと野球経験ありの被験者で5回ずつを比較した結果である。横軸が時間、縦軸が脇の角度である。これは、野球経験者の卒業研究生が提案した実験である。野球のバッティングでは、ボールのインパクト時に脇が縮まっていることが重要であると言われ、本当に数値的にそうになっているかを調べようとしたことが

きっかけとなった。



図 9. 素振りでの脇の角度  
(左: 野球経験なし, 右: 野球経験あり)

## 2. 6. 統計処理

前段階までの結果の信頼性を高めるには、同じ処理を多数回繰り返す必要がある。また、動作のばらつきを評価したい場合にも、同じ処理を多数回繰り返す必要があり、統計的な計算が必要になる。

その実例として、図 10 では、野球の素振りでのインパクト時の着目部位数箇所が、動作を行う度にどの程度ばらつくかを、約 20 動作の重ね描きにより示した。また、図 11 では、野球経験ありの 2 名、野球経験なしの 4 名について、各着目部位の位置の標準偏差をまとめた。これが、フォームが一定しているかどうかの評価となる。

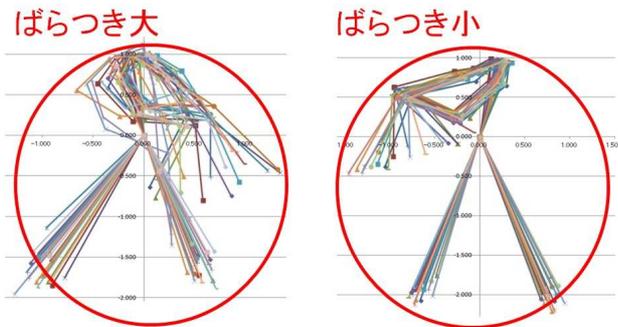


図 10. 素振りのフォームの重ね描き  
(左: 野球経験なし, 右: 野球経験あり)

野球経験	あり		なし				
	選手A	選手B	選手C	選手D	選手E	選手F	
素振りの回数	20	18	20	15	18	12	
インパクト時の 上体各部位の 位置の 標準偏差	首	0.07	0.06	0.12	0.08	0.12	0.08
	右肩	0.09	0.05	0.16	0.14	0.13	0.11
	右ひじ	0.11	0.07	0.16	0.16	0.13	0.11
	左肩	0.08	0.06	0.10	0.11	0.16	0.11
	左ひじ	0.11	0.08	0.13	0.17	0.15	0.12
	バットグリップ	0.11	0.09	0.25	0.17	0.18	0.17
平均	0.09	0.07	0.15	0.14	0.14	0.12	

図 11. 素振りのフォームのばらつき

## 3. 結論と課題

本研究を高専の卒業研究として行うことには、次の利点、欠点がある。

- ・身近な道具で行うことを追求するので、研究資金がほとんど必要ない。
- ・スポーツを対象としていて学生が興味を持ちやすい。また、対象スポーツや動作、比較対象を学生が主体的に選択できる。
- ・表 1 のように解析の各段階に適度に課題があり、それらを学生が主体的に選択できる。
- ・各段階をグループ内のメンバーで分担すれば、責任感や連帯感が生まれやすい。
- ・すでに高度なシステムが存在するので、本研究は最先端とは言えない。しかし、解析の各段階では優れた方法を提案できる可能性はある。

解析の段階	課題
連続撮影	簡易で色判別もしやすい目印の選定
	色判別のしやすい撮影条件の検討
色による着目部位の抽出	アルゴリズムの考案
	自作プログラムによる処理
座標の補間	アルゴリズムの考案
	自作プログラムによる処理
3次元再構築	アルゴリズムの考案
	自作プログラムによる処理
幾何学的計算	自作プログラムまたは表計算ソフトでの計算
統計処理	適切な統計処理方法の検討
	表計算ソフトまたは統計処理ソフトでの計算

表 1. 各段階の課題

本稿で取り上げた研究テーマは、様々な理由から、情報専攻の高専生が卒業研究として行うのに、適していると考えられる。

## 参考文献

- [1] 篁 俊市郎, 斎藤 隆文, 田中 秀幸: スポーツ指導のためのビデオ映像処理, グラフィックスと CAD, 110-7, 2003.
- [2] 戸崎 祐輔, 神田 毅: 競技スポーツにおける簡易なフォーム解析手法の確立, 第 19 回高専シンポジウム in 久留米 講演要旨集, p. 108, 2014.
- [3] 戸崎 祐輔, 神田 毅: 簡易なスポーツ動作解析のための座標値の補間法の検討, 2014 年電子情報通信学会 総合大会, 2014.
- [4] 神田 毅: 卒業研究に適した簡易なスポーツ動作解析, 第 20 回高専シンポジウム in 函館 講演要旨集, P4-14, 2015.