

# 運動学上の観点から考察したアニメーション\*

4 X - 3

加藤 光 上田 穰 工藤 和俊 白井 靖人  
 会津大学† 東京大学‡ 静岡大学§

## 1 はじめに

コンピュータグラフィックス（以下CG）の分野は、優れたアルゴリズムの開発や、コンピュータの急速な性能の向上に伴い、ここ数年の間に著しく発展してきた。現在では、映画、設計、TVなど様々な分野でCGが使われている。また、高性能のCGソフトが安価で購入可能になり、CGはより身近なものになった。CGの中でもアニメーションは特に注目されており、これからも更にCGアニメーションの需要は増えていくだろう。本論文では、参考文献[1]で測定された2次元座標データを元に、CGアニメーションによって可視化する手法を検討する。初めに、アニメーションを生成した過程を説明する。次に、本手法によって作成したアニメーションについて考察する。

## 2 スポーツの実測

本章では参考文献[1]で行なわれた研究について紹介する。この論文は、下手投げによる的当てという運動課題において、成績の向上が何によって見られるかをICRV(Index of Coordination for Release Variables)という指標を用いて動作から明らかにしようとしたものである。

• 手順：

被験者の腰、左肩、肘、手首、人指し指の5つの部分に白いマーカーを取り付けた。これは、ビデオカメラを使って、後から動作解析をしやすいようにするためである。どの被験者にも、できるだけ正確に5メートル離れた的をめがけてボールを150回投げてもらった。タイマーカウンターのついたビデオカメラで、下手投げの動作を撮影する。そのカメラは、被験者の左側から7メートル離れた所に設置した。

• 成績とリリースポイントの変化：

この実験の主な目的は、的当ての成績と動作の間にある関係があるかどうかを調べることである。リリースポイントの変化を調べるために、1秒間30フレームの間隔で、白いマーカーの取り付けた部分デジタルで取り込み、2次元座標のデータにする。

• 結論：

結果的には、投げ方自体の変化は必ずしも明確で

はなく、ボールを離すところに学習による変化が見られたということである。そして、ボールリリースで何が変化したかという点、ボールを離すときの速度がもっとも重要なのであるが、それだけでは十分説明できず、その他の変数（ボールを離す高さやその投げ出す角度）の組み合わせ方がうまくなっているということである。その組合せを示すもの一つとしてICRVを使用している。つまり、人間が運動を学習するとき必ずしも一つの変数だけを操作するわけではなく、それらの組合せをトータルに調整していくだろうということになる。

## 3 ボール投げアニメーションの作成

### 3.1 腕の動きのアニメーション

- 参考文献[1]で使用された2次元座標のデータから、各関節の回転角度を計算していく。

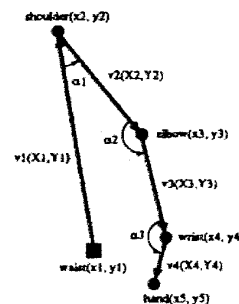


Figure 1: 各関節の回転角度

- 腰、肩、肘、手首、手の座標からそれぞれのセグメントベクトル（図1:v）を求める。ただし、式中の $i(1 \leq i \leq 5)$ は図1の番号と一致し、 $j$ はフレーム番号とする。

$$v_{ij} = (X_{ij}, Y_{ij}) = (x_{(i+1)j} - x_{ij}, y_{(i+1)j} - y_{ij})$$

- それぞれのセグメントベクトルの長さを求める。

$$\|v_{ij}\| = \sqrt{X_{ij}^2 + Y_{ij}^2} \tag{1}$$

\*Animation Considered From A Viewpoint Of Kinematics

†Ko Kato, Minoru Ueda : The University of Aizu

‡Kazutoshi Kudo : Tokyo University

§Yasuto Shirai : Shizuoka University

- 各関節を構成しているセグメントベクトルより外積と内積を求める。(外積は回転の正負を判別するのに使用)

$$-v_{ij} \times v_{(i+1)j} = -X_{ij} * Y_{(i+1)j} + Y_{ij} * X_{(i+1)j} \quad (2)$$

$$\langle -v_{ij}, v_{(i+1)j} \rangle = -(X_{ij} * X_{(i+1)j} + Y_{ij} * Y_{(i+1)j}) \quad (3)$$

- (1),(2),(3) で求めた値を次の式にそれぞれ代入し、回転角度 ( $-180 \leq \alpha_{ij} \leq 180$ ) のデータを求める。

$$\alpha_{ij} = \frac{-v_{ij} \times v_{(i+1)j}}{|-v_{ij} \times v_{(i+1)j}|} \cos^{-1} \left( \frac{\langle -v_{ij}, v_{(i+1)j} \rangle}{\|v_{ij}\| \cdot \|v_{(i+1)j}\|} \right)$$

- 初期状態からどれだけ回転したかを各関節ごとに計算する。変数  $n$  はフレーム数を表している。ただし、(4) で  $\alpha_{ij}, \alpha_{i(j-1)}$  の符号が  $|180|$  度を通して変化している場合、 $\Sigma$  の中の式を

$$\frac{\alpha_{i(j-1)}}{|\alpha_{i(j-1)}|} (360 - |\alpha_{ij}| - |\alpha_{i(j-1)}|) \text{ にする。}$$

$$\theta_{in} = \begin{cases} \sum_{j=2}^n (\alpha_{ij} - \alpha_{i(j-1)}) & n \geq 2 \\ 0 & n = 1 \end{cases}$$

2. 以下プロセス1を繰り返して全フレームの回転角度をすべて計算する。実際にはセグメントベクトルの大きさも変わっているのだが、ここではそれを無視している。
3. 腰を運動の中心となるルートとし、その移動距離と回転角度をフレーム毎に求める。

$$\phi_n = \frac{v_{11} \times v_{1n}}{|v_{11} \times v_{1n}|} \cdot \cos^{-1} \left( \frac{\langle v_{11}, v_{1n} \rangle}{\|v_{11}\| \cdot \|v_{1n}\|} \right)$$

4. プロセス1から3で求めたデータを元に、アニメーションソフトで必要な2つのファイルを独自のプログラムによって自動作成する。
5. 各関節の位置に合わせて腕のオブジェクトを編集し、骨と連結させる。

### 3.2 ボールの軌道のアニメーション

1. 物理法則に従う投げられたボールの軌跡を計算し、腕の動きと合わせてボール投げのアニメーションを作成する。デジタルの誤差を少なくするために、リリースポイントから2フレームと4フレーム目の速度の平均より、初速度  $v_0$  と投射角度  $\theta$  を求める。ただし、 $g$  は重力加速度、 $t$  はリリースポイントからの経過時間とする。

$$v_x = \frac{(x_{R+1} - x_R) + (x_{R+1} - x_{R+2})}{2} \quad (4)$$

$$v_y = \frac{(x_{R+1} - x_R + gt_1) + (x_{R+3} - x_{R+2} + gt_3)}{2} \quad (5)$$

(4),(5) より

$$v_0 = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}, \quad \theta = \tan^{-1} \frac{v_y}{v_x}$$

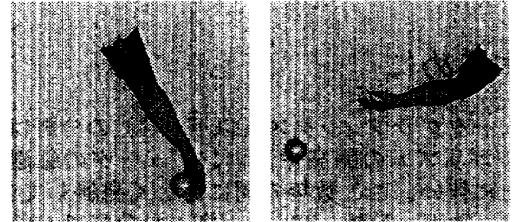


Figure 2: 完成した下手投げアニメーション

## 4 結論

2次元座標データをCGアニメーションにすることで以下のような利点が考えられた。

- 数値データを視覚化することにより、分析が非常に楽になる。
- 複数の動作を同時に比較することが可能

逆に、このアニメーション作成手法の問題点として以下の事があげられる。

- キャプチャーの手段がデジタルを用いた手作業であるため、データに多少の誤差が出てしまう。
- 腕のオブジェクトを被験者に合わせる作業で誤差が生じてしまう。

## 5 おわりに

今後の課題としては、以下のような点が挙げられる。

- 3次元に対応できるようにする。
- データグローブを用いて手の動作を調べる。
- キャプチャーの手間と誤差を少なくするため、光学的システムを使用する。

## References

- [1] Kazutoshi Kudo, Yuji Yamamoto: Intercompensational coordination of release variables in ball-throwing movement
- [2] Norman I. Bardler, Cary B. Phillips, Bonnie Lynn Webber: Simulating Humans, OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1933
- [3] 波多野 義郎, 小林 義雄: スポーツ動作の科学的分析, 泰流社, 1983
- [4] Michael O'Rourke: Principles of Three Dimensional Computer Animation, Toppan, 1995