

ImageJ による画像計測法の評価 ーデジタルカメラやビデオカメラを計測器として活用するためにー

菊池拓己*・伊藤 敏**・井上祥史*

(2008 年 11 月 20 日受理)

1. はじめに

市販のデジタルカメラや DV カメラなどの画像記録機器は、汎用性を満たすために厳密な規格化が図られている。扱いやすい汎用の画像解析ソフトを利用することによって、教育現場でこれらの汎用機器を身近な精密測定器として実験や実習に活用することができる。このような要求を満たすソフトとして ImageJ を用いた場合の解析精度や操作性などの特徴を、簡単な力学運動系をサンプルとした運動解析を行うことによって評価した。そして、ImageJ を用いることによって、デジタルカメラやビデオカメラが中高等学校の科学実験の汎用の計測機器として、多分野にわたって活用できることを示した。

2. 画像による運動解析

2.1 画像計測の環境

画像計測法は、実験結果を画像に記録し、対象物の位置や形状そして RGB の濃淡分布からさまざまな計測情報を得る方法である。従来は写真による記録・解析が主であったが、最近ではほとんどデジタル画像をコンピュータ処理して計測データを得るようになり、そのデータによって解析できる項目も重心位置や溶液の濃度分布だけではなく、面積や粒子数のカウント、FFT による空間スペクトルなど、幅広い項目の解析が容易に行えるようになってきている。一方、力学運動など動きのある物体の画像解析には、従来はストロボ写真などから位置を読み取ることが行われていたが、最近では DV カメラで撮影したデジタル画像の処理により 2次元位置のみならず、複数のカメラによる 3次元位置の測定などが行われるようになってきた。教育現場においてもビデオカメラで撮影した映像を 1コマ1コマ手作業で位置を測定するなどの多くの実践が行われており、画像処理で運動解析を行うソフトの VideoPoint⁽¹⁾を用いた報告なども見られるようになって来ている。しかしながら市販のソフトは視線軸に直交する平面内の運動解析を行い、写したスケールと画像処理によって求めた重心から物体の位置を求めるパッケージが主体である。このため近距離から視線軸と斜交する平面内の運動を撮影した解析など

* 岩手大学教育学部

** 岐阜聖徳学園大学経済情報学部

定型処理以外の自由度のある解析は困難であり、何よりも高価であることから教育現場での利用は限られているのが実情である。

最近になって NIH(National Institute of Health) が開発した画像処理のオープンソフトである ImageJ⁽²⁾が Windows 環境でも利用できるようになり⁽³⁾, 前身の SionImage などでも長年の使用経験を経て培われた処理機能に加え, 操作性に優れたソフトとして定着しつつある. この ImageJ を用いることにより, 教育現場でも画像や動画による物理計測や化学計測が容易に行える環境が整ってきた. そこで我々は ImageJ を用いて簡単な力学系の運動解析を行い, 解析精度や解析手法の特徴を評価して教育現場への応用を展望することにした.

2.2 ImageJ の機能

Scion Image は Macintosh で主に医用や生化学の実験結果を画像解析するソフトとして用いられてきた. そのため撮影した画像から, 細胞の数のカウント, 細胞の面積や周囲長, そしてゲルクロマトグラフの濃度測定などを簡単に行うことができる. Java 環境に ImageJ として移植されるのを契機に, 多くの種類の静止画像や動画を読み込めるようになり, 画像演算や複数の操作をワンタッチで再現するマクロ機能も充実し, マクロをネットワークで登録し共有することもできるようになった. ImageJ は画像の加工を行う機能に加えて, 基本的にはカラー画像の RGB 分解, 2値化を行って様々な処理をする画像処理ソフトであり, 描いた濃度グラフ自身も2値化画像として面積計算などが行えるため, 濃度の積分から物質量を求めることができるなど, 多彩な機能を備えている. 運動解析を行うには, 動画を avi ファイルとして取り込み, すべてのフレームのスタック画像を一括して RGB 分解, 2値化して, 重心座標や面積, 周囲長, 画像の差分演算などの処理を行い, 解析した演算結果を時系列の CSV のテキストファイルとして Excel にまとめて渡すことができる. このような特徴を持つ ImageJ は, 画像処理のプロセスが明確なため, 解析目的に合わせて様々な解析手段を確認・調整しながら計測結果をインタラクティブに検討することができる柔軟な画像解析ツールとして有効に機能する.

2.3 運動解析

(1) 評価用力学系

ImageJ による運動解析の特性を評価するために, エネルギー保存則を実験的に確かめるとして良く取り上げられる力学系を解析対象とした. 図1に示すように, 斜面 AB に沿ってボールを転がし, レール端 B からの落下時の移動距離 EF によって速度 $V(t)$ を求め, AD の位置エネルギーから B 点での運動エネルギーと回転エネルギーへの変換を確認するものである. よく行われるのはレール端 B を水平にして水平投射の条件で落下させる実験である. レール端 B での速度計測を行わない場合は, レール端 B でのボールの速度を水平落下距離から推定してエネルギー保存則を確かめる実験となるが, 実際にボールの速度 $V(t)$ を計測しないために, 学習者には割り切れない部分が残る実験でもある. レール端 B での速度 $V(t)$ を求めるために, 光スイッチやストロボなどを用いてボールの速度を計測することが行われてきたが, 回路製作の手間や時間および装置などの制約が多く, ほとんど速度の測定が行われないのが現状である. そこで実験室など狭い範囲で近距離から DV カメラで撮影することを想定して, ImageJ を用いてレール上のボールの速度 $V(t)$ を測定し, その解析精度を確認することにした.

ImageJ による画像計測法の評価

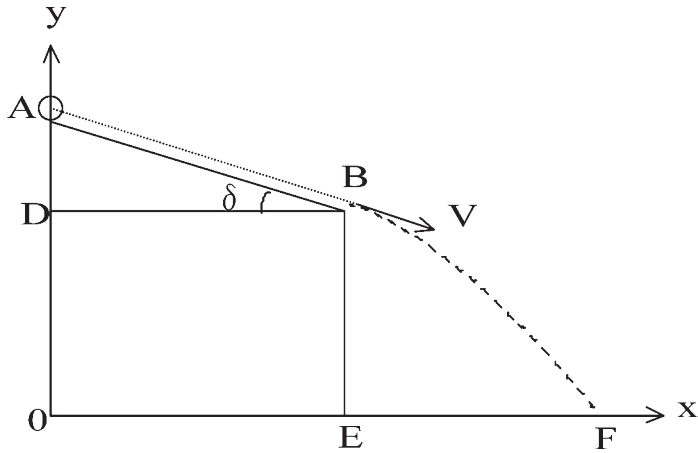


図1. 評価用力学系

$A0=46\text{cm}$, $BE=35\text{cm}$, $AB=59.5\text{cm}$

(2) DV カメラによる撮影系

テーブルの水平面を $x-z$ 面とし, $z=0$ の基準位置をボールの軌跡面の $x-y$ 面に選んだ場合, カメラとボール (target) の配置は図2のようになる。

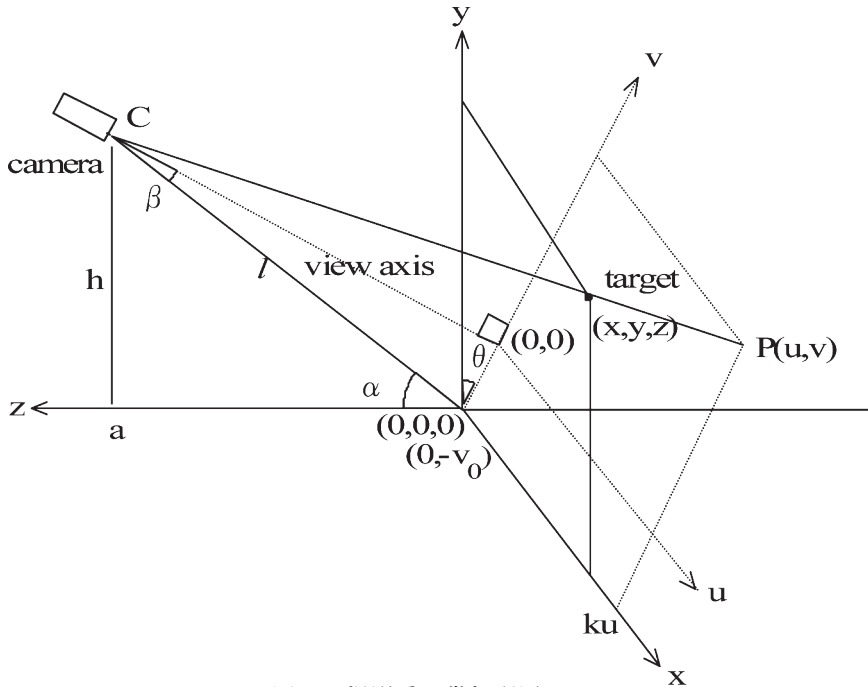


図2. 撮影系の幾何配置

pixel 単位の2次元のカメラ座標 (u, v) の原点を画面中央にとり, 簡単のためカメラ画面の u 軸と3次元空間座標の x 軸は平行であるとした. v_0 はカメラ座標中央から x 軸までの距離の pixel 値で, k は実距離 (cm) と pixel との比例係数 (cm/pixel) であり, x 軸に置いたスケールの画像から決定した. 画面の水平方向と垂直方向で縦横比が異なる場合には, 縦方向と横方向の比例定数を k_u, k_v として, それぞれ求めることになる. また β はカメラ位置から見て u 軸と x 軸とのひろがり角度で, 実座標から決定した. この系では $a=170\text{cm}$, $h=109\text{cm}$, $v_0=50\text{pixel}$ であった. 図2から

$$l \sin \beta = kv_0 \quad (1)$$

およびボールのカメラ座標の位置 P の3次元位置

$$P(ku, k(v+v_0) \cos \theta, -k(v+v_0) \sin \theta) \quad (2)$$

より直線 CP の方程式

$$\frac{x}{ku} = \frac{y-h}{k(v+v_0) \cos \theta - h} = \frac{z-a}{-k(v+v_0) \sin \theta - a} \quad (3)$$

が成り立つ. ここで

$$l = \sqrt{a^2 + h^2}$$

$$\theta = \alpha - \beta$$

である. $z=0$ として

$$y = \frac{k(v_0 + v) \cos \theta - h}{k(v_0 + v) \sin \theta + a} a + h \quad (4)$$

$$x = \frac{kua}{k(v_0 + v) \sin \theta + a} \quad (5)$$

のボールの空間位置を得た.

(3) 運動解析

運動解析は撮影した avi 画像に対し, (1)VirtualDub.exe⁽⁴⁾を用いて avi 画像の非圧縮化, (2)AviUtl.exe⁽⁵⁾を用いてインターレースモードの解除, を行って ImageJ に取り込んだあと, スタック画像の(3)RGB 分解, 赤いボールの場合(4)R-B の画像演算, (5)2 値化, (6)重心座標, の処理を行って得られたテキストデータを Excel で読み込んだ. フレーム間隔を1/30sec とした場合の解析結果を表1に示す. 表1において, 測定値は ImageJ による前進差分の解析結果で, 計算値はボールの質量を m , 半径を r , 球の慣性モーメントを $I = \frac{2}{5}mr^2$ として, 滑りが無くボールが転がり落ち, 位置エネルギーが回転運動エネルギーおよび運動エネルギーに変換されるとして求めた理想値である.

表1. 解析値と計算値との比較

	水平移動距離 EF(cm)	速度 (cm/sec)
測定値	29.53	122.4
計算値	29.86	124.1
誤差 (%)	1.37	1.11

3. 画像計測の教育利用

表1の誤差は、測定値と摩擦のない理想系とを比較したものであり、摩擦を考慮すると測定値の真値は計算値よりは小さな値になると考えられる。従って画像計測による運動の測定は、前進差分であっても、ほぼ正確な値を与えているものと考えられる。さらに解析精度を上げて評価を行うためには、高速度撮影を行う、ボールの回転数を計測する、差分近似を高める、最小二乗フィットを行う、などが考えられる。

一方、運動の解析実験は教室や実験室などの狭い場所で行われることが多いため、このような実験条件の場合には式(4),(5)による斜め上からの撮影による解析方法が有効であるといえる。水平面内の運動についても、真上からの撮影は困難な場合が多いため、斜め上から撮影して同様な方法で解析することができる⁽⁶⁾。

運動解析に用いるaviファイルの非圧縮化や音声データの削除はオープンソフトのVirtualDub.exeなどで行うことができ、読み込んで保存するだけの簡単な操作で済む。またインターレースモードを解除するためのAviUtl.exeも同様である。これに対してImageJによる画像解析はいくつかの処理操作を連続して行うことになる。そのためそれぞれの処理内容を学習者に説明して理解を得ておく必要がある。しかしながらこれらの処理結果はリアルタイムで画像として確認できるので、処理の目的と内容を学習者は直感的に把握することが可能である。高校生を対象とした重力加速度の解析プロセスにおいて、生徒が困難と感じているような操作法は見受けられなかった。

このように汎用の情報機器とImageJを用いる画像計測環境は、導入しやすいこと、画像処理内容が直感的に理解できること、近距離の撮影でも位置解析できること、などの特徴を有するために、中高等学校での教育利用も十分可能である。

画像計測による科学実験の応用分野として、生物生産分野では植生の分布や成長・収量記録そして動物の運動記録、化学分野では濃度やスペクトル解析、物理分野では力学運動や振動解析などが考えられる。これに対応するImageJを用いた画像解析の実験として、運動解析以外にこれまでに(1)航空写真や衛星写真による緑地面積の計算、(2)粒子数カウントや粒子間距離の測定、(3)溶液の濃度分布のグラフから積分による物質量の計算、そしてグレイ画像を直接扱うことによって(4)回折格子による分光色からスペクトル解析、(5)振動などの動画像から周期や振幅の数値データの取得、などの実験を行ってきた^(7,8)。そしていずれの実験でも画像情報からImageJの簡単な操作で計測値を得ることができている。従ってデジタルカメラやDVカメラを活用したImageJによる画像計測法は有効に教育利用を行うことができると結論できる。

4. まとめ

ImageJを用いた画像計測法の特徴は(1)汎用のデジタルカメラやDVカメラを計測器として活用できる、(2)すべてオープンソフトであり自由に利用できる、(3)画像で記録できる実験は解析対象になる、(4)比較的精度の高い運動解析を行える、(5)画像解析をブラックボックスとして扱うのではなく画像解析自体が教育素材になりえる、(6)画像解析のアルゴリズムが直感的に理解できる、などにまとめられる。今後このような画像計測法が教育現場の広い分野にわたって積極的に取り入れられることが望まれる。

謝 辞

本研究は、文部科学省科学研究費，基盤研究 C，課題番号18500696および課題番号20500850より補助を受けた。

引用文献

- 1) <http://www.lsw.com/videopoint/>
- 2) <http://www.bioarts.co.jp/~ijjp/ij/>
- 3) 小島清嗣，岡本洋一：画像解析テキスト改訂第3版，羊土社，2006.
- 4) <http://tnetsixenon.xrea.jp/rnote/localization/virtualdub.html>
- 5) <http://spring-fragrance.mints.ne.jp/aviutl/>
- 6) 菊池拓己，高城 大，伊藤 敏，井上祥史：ImageJによる水平面内の運動解析，第26回日本産業技術教育学会東北支部大会講演集，31-32(2008).
- 7) 井上祥史，伊藤 敏：教育利用を目指した Mixed Reality システム，岩手大学教育学部研究年報，67, 183-190(2008).
- 8) 菊池拓己，伊藤 敏，井上祥史：画像解析による力学運動の計測，日本産業技術教育学会第51回全国大会講演要旨集，51(2008).