

# モーションキャプチャを用いた理科教育支援システム

## Education support system of science using a motion capture

○池田侑史<sup>1</sup>, 山口健<sup>2</sup>, 吉川浩<sup>2</sup>\*Yushi Ikeda<sup>1</sup>, Takeshi Yamaguchi<sup>2</sup>, Hiroshi Yoshikawa<sup>2</sup>

Abstract: Experiments of dynamics need preparations at schools. Therefore, it is not easy to perform them during a lecture. In this study, we have developed a motion capture system which can draw a target state on a PC monitor. With this system, students can understand dynamics more easily.

### 1. まえがき

中学校や高等学校の物理の授業では様々な実験を行っている。しかし、速度変化や力学的エネルギーの実験において、エネルギーは直接視認できるものでないため、苦手とする生徒が多い傾向にある。本研究では、Web カメラを使った物体の速度と加速度をリアルタイムに表示するフリーソフトである運動アナライザー<sup>[1]</sup>を参考にし、モーションキャプチャを用いて実験による理解の向上を目的としたシステムを開発する。

### 2. 原理・方法

#### 2.1. 速度実験の問題点及び改善策

現在の速度変化の実験では台車と記録テープを用いて時間ごとのテープの長さから、速度を求める。この方法では下準備がある上に実験に時間が掛かってしまい、実験と座学を分けて行う必要がある。また、実験方法も最初から決まっておらず手順通りやっていくという形になりがちのため、生徒が関心を持ちづらい。そのため、実験の事前説明である座学中も使用することができ、生徒が自ら考え、能動的な実験を行うことのできるシステムがあれば、理解の向上と学習意欲を促進することができる。

#### 2.2. システム概要

本システムは運動アナライザーを参考に、logicool 社製 web カメラを使用し、対象の動きを瞬時にベクトル、軌跡として表示、速度変化をグラフ化することができる。また、2次元ではなく3次元の位置情報を取得しているため、速度変化だけでなく実際の速度を算出できる。そのため速度のグラフといった現在の記録テープの実験のような、定量的な結果を用いた学習も可能である。

本システムのインターフェースを Fig.1(a)に示す。メイン画面とサブ画面にカメラの取得画像を表示する。画面上の対象の物体をクリックすることで物体の位置情報の取得を開始し、対象の中心から速度、加速度ベクトルを表示する。対象の運動による速度や加速度をベクトルやグラフとして、視覚的に見せることで運動の性質を生徒自ら気づくことができる。



(a) Main window

(b) Sub window

Figure 1. Application view of motion capture

#### 2.3. 検出方法

位置情報の取得には、カラートラッキング<sup>[2]</sup>を使用する。本システムでは、対象を単色の球体に限定する。カメラで取得した画像を HSV 色空間に変換する。HSV 色空間は「色相 (H)」,「色彩 (S)」,「明度 (V)」の3つで構成される。まず対象の HSV 色空間のパラメータを取得する。次にそのパラメータをもとに閾値を決め、類似する色を取得する。そして2値化を行うことで、Fig.1(b)のような画像を取得する。画像の中から、最も面積の大きいものの重心を求めることにより画面上における対象の位置情報を取得する。実際の面積を  $c \text{ cm}^2$ , カラートラッキングによって算出できる対象の面積を  $d \text{ pixel}$  とし、実際の位置情報に変換するための倍率  $\alpha_{color}$  を算出する。

$$\alpha_{color} = \frac{\sqrt{c}}{\sqrt{d}} \quad (1)$$

#### 2.4. 速度の算出

移動距離はカメラの取得画像より  $\Delta t$  秒前の位置情報と現在のフレームの位置情報の差から三平方の定理にて画面上の移動距離を算出する。 $\Delta t$  秒前の位置情報を  $(x_1, y_1)$ , 現在のフレームの位置情報  $(x_2, y_2)$  として  $V$  を速度, を画面上の移動距離,  $\Delta t$  を移動時間として以下の式から速度を算出し,  $V$  と  $\alpha_{color}$  の積をとることによって実際の速度を求める。

$$l = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} [\text{cm}] \quad (2)$$

$$V = \frac{l}{\Delta t} [\text{cm/s}] \quad (3)$$

また、速度を 2 成分に分け、画面の横軸方向を  $V_x$ 、縦軸方向を  $V_y$  として以下の式から出力する。

$$V_x = \frac{x_2 - x_1}{\Delta t} [\text{cm/s}], V_y = \frac{y_2 - y_1}{\Delta t} [\text{cm/s}] \quad (4)$$

## 2.5. 速度・加速度ベクトルの表示

対象の中心から速度と加速度のベクトルを表現する。座標を用いてベクトルを表示するために、画面の横軸方向の基底を  $\vec{e}_i$  として速度ベクトルを  $\vec{V}_x$ 、縦軸方向の基底を  $\vec{e}_j$  として速度ベクトルを  $\vec{V}_y$  と 2 つに分けて以下の式から処理を行う。

$$\vec{V}_x = \frac{x_2 - x_1}{\Delta t} \vec{e}_i, \quad \vec{V}_y = \frac{y_2 - y_1}{\Delta t} \vec{e}_j \quad (5)$$

加速度ベクトルも同じように 2 成分に分けて処理を行う。式 (5) を用いて算出した各軸の速度ベクトルを利用して  $\Delta t$  秒前の速度を  $\vec{V}_{x1}$ ,  $\vec{V}_{y1}$ 、現在のフレームの速度を  $\vec{V}_{x2}$ ,  $\vec{V}_{y2}$  として以下のような式から算出する。

$$\vec{a}_x = \frac{\vec{V}_{x2} - \vec{V}_{x1}}{\Delta t}, \quad \vec{a}_y = \frac{\vec{V}_{y2} - \vec{V}_{y1}}{\Delta t} \quad (6)$$

軌跡は対象の物体の位置情報をフレーム毎に記録しておき、現在のフレームから 30 フレーム前までの位置情報を軌跡として表示する。フレーム毎に記録しているため、厳密には一定時間で記録を取っているわけではなく動的な fps に左右される。

## 3. 結果・考察

### 3.1. 位置情報の取得結果

カラートラッキングによって位置情報の取得結果を行った。HSV 色空間は 256 段階に分けられている。対象のパラメータから、色相を  $\pm 30$ 、色彩と明度を  $\pm 100$  の領域で取得するよう設定した。対象の色によって取得精度が異なり、色相がオレンジや黄緑など黄色系統であると精度が良いという結果が得られた。その他の色相の対象では精度が悪く安定して位置情報を取得できなかった。

### 3.2. 速度の算出結果

Fig.2 にカラートラッキングでの速度の出力結果を示す。これは糸の長さ 30 cm、最大角度  $30^\circ$  の単振動を取得し横軸方向の速度  $V_x$  を出力している。単振動の最高速度と周期の理論値を求めたところ 94 cm/s であり約 10 cm/s の誤差があり、周期は 1.12 s であり約 0.3 s の誤差があるが、十分な精度であり、単振動公式が実際に当てはまることの実証といった学習ができる。

### 3.3. 速度・加速度ベクトル及び軌跡の表示

円運動を用いて速度・加速度ベクトルの検証を行

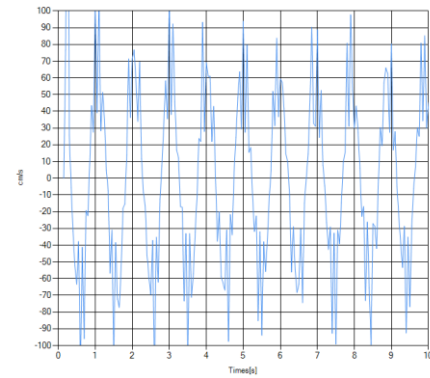
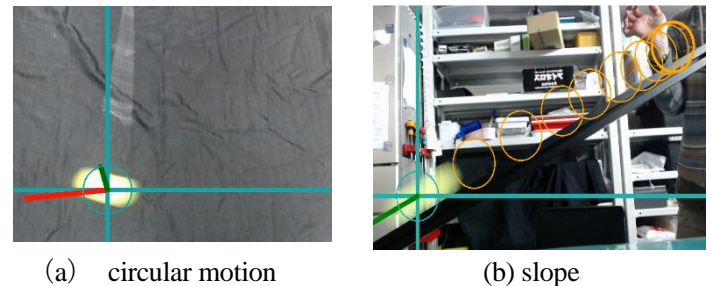


Figure 2. Chart of speed



(a) circular motion

(b) slope

Figure 3. Inspection of a track and a vector

った。Fig.3(a)に示す。赤で表示されているのが速度ベクトルであり、緑が加速度ベクトルである。速度ベクトルと加速度ベクトルのなす角は約  $90^\circ$  であり、円運動の性質に当てはまる。しかし、速度ベクトルが接線からずれており、加速度ベクトルも円運動の中心を向いていない。これは描画時の遅延によるものであると考えられる。軌跡はフレーム毎に位置情報を記録している。プログラム実行中のフレームレートは約 30 fps だったことから 20[ms]毎の軌跡を表示している。Fig.3(b)では傾斜の上端からボールを転がしていき、軌跡をとっている。ストロボ写真のように対象の速度変化がわかる。また速度のグラフと比較し軌跡間の移動距離を算出するといった定量的な学習が行える。

## 4. むすび

本研究ではモーションキャプチャを用いることで、対象の動きと同期して速度の算出することができた。また、取得画像に対して、対象の速度・加速度ベクトル、軌跡のリアルタイムでの表示を行った。

## 5. 参考文献

- [1] 末谷健志：“運動解析システム”，日本科学教育学会 (2014).
- [2] “Opencvsharp でカラートラッキング”  
[http://opencv.blog.jp/csharp/color\\_tracking](http://opencv.blog.jp/csharp/color_tracking).
- [3] “logicool”  
<http://www.logicool.co.jp/ja-jp/product/hd-pro-webcam-c920>