

コンピュータビジョンを用いた リアルタイム運動解析システムと物理教育への応用

中川 玄 藤井 研一

大阪工業大学大学院情報科学研究科

1. はじめに

物理学は理学，工学の基礎を築くために必須科目ではあるが，理解が困難だと考えられている科目でもある．このような困難さが生じている原因の一つとして，「経験知」と「科学知」のギャップがある．個々の学習者は学校教育において物理を学ぶまでに，日常経験から運動に関して多くの理解（経験知）を築き上げている．この経験知が，学校教育で学ぶ理解（科学知）と異なっており，科学知の理解に対する妨げとなる．

具体的な例としてニュートンの第一法則である慣性の法則を上げる．慣性の法則では，物体に力が加わらなければ運動物体は等速直線運動を続け，静止物体は静止し続けるとされる．しかし，経験から得られる運動の知識では，一様な運動を引き起こすには継続的な力の印加が必要であり，力を加え続けなければ物体は静止すると理解されている．これは，実際には摩擦や空気抵抗といった目に見えない力が働いているにも関わらず，これらを考慮せずに運動を認識しているが故の理解である．目に見えない力を経験として捉えることは難しく，複合された力を分析的に理解することは，日常経験のみからでは非常に困難である．

学習環境において経験知から科学知への移行を確実にするためには，経験知と関連する実験教育の実施を通して経験知による認識の誤りを示し，科学知を理解させることが必要と思われる．しかしながら，学校教育においては時間的な問題や実験機材の制約などで十分な実験を行うことが困難である．この問題を改善すべく，現在の学校教育においても容易に実験導入が可能な，コンピュータ(PC)を用いた画像解析による力学実験システムの開発を行った．

この様なシステムに関しては末谷による先駆的な研究があるが[1]，本システムでは運動と力の関係を明らかにするために，学習者が行った物体の投擲などにおいて物体の加速度ベクトルを明確に示し，これにより力と運動の関係を直接理解させることを目的としている．

2. 力学実験システム

2.1 概要

本システムは PC と Web カメラを用いて実行し，任意の運動物体の運動解析を行う．Web カメラから取得した画像から物体の位置情報が定量的に求められ，これにより速度，加速度が得られる．得られた物理量は時間変化のグラフとしても，撮影画面上に表示された軌跡上にベクトルとしても表示可能である．これらの運動解析や表

Realtime motion analysis system and its application to the education of physics

Gen Nakagawa, Ken-ichi Fujii

Graduate School of Information Science and Technology,
Osaka Institute of Technology

示画面の更新は撮影とリアルタイムに行われる．また，全ての操作は GUI から行うことが可能であり，対象とする運動物体の指定も 1 クリックで可能である．

図 1 に本システムの実行画面を示す．画面上には軌跡と加速度ベクトルが描かれた撮影画面や，水平方向(X)のグラフ，垂直方向(Y)のグラフ，操作パネル等が表示されている．これらを表示する位置や大きさ，表示の有無は全て任意に変更が可能である．

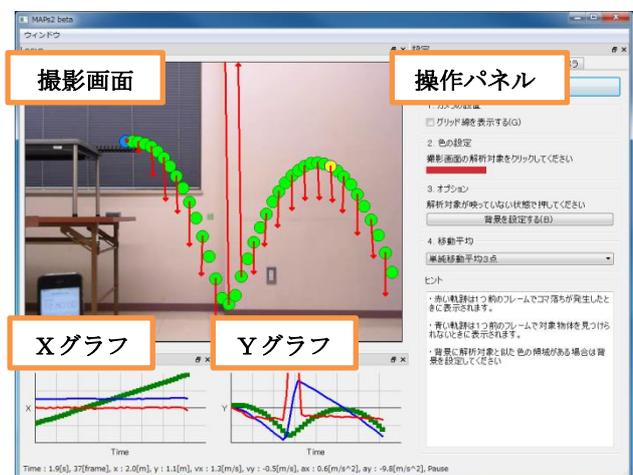


図 1 実行画面

2.2 実験環境

特定の物体の運動解析を想定し，物体認識のため運動物体の色と形を限定している．具体的には単一色の球形物体を想定しており，比較的大きなものほど安定した認識が行える．運動としては水平運動，重力下での自由落下運動，放物運動，振り子の運動解析を想定している．使用する Web カメラには 640x480 pixel の解像度の画像を 1 秒間に 30 枚撮影できる性能(30fps)を持つものを想定している．また，できるだけ明るい部屋での実験が望ましい．

これらの条件は開発時の想定であり，ソフトウェア自体の汎用性は高い．ユーザの発想と必要において，特定の物体や運動に縛られない自由な発想を基にした実験が可能である．

2.3 解析方法

物体の位置情報の取得は以下の流れで行われる．

- ① Web カメラから画像を取得
- ② 対象物体と似た色の領域を抽出
- ③ オープニング・クローズング処理によりノイズを除去
- ④ 抽出された領域の中で一番面積が大きい領域を物体の抽出像とし，抽出像の形状の重心を物体の座標とする

以上を Web カメラで画像が撮影される度に行い，位置の

変化から速度及び加速度を得る。この際、物体が撮影画面面外に出てしまったり、コマ落ちが発生したりすると正しい軌跡を表示することができない。これらが発生した場合、表示する軌跡の色を変えることによりユーザに知らせる機能を搭載している。

3. 実験

実際の教育現場での初等力学に関する実験を想定し、本システムを用いて放物運動と単振り子の振動の実験を行った。

3.1 放物運動

直径 75mm のボールを用いた放物運動を測定し、解析した。床と平行に設置したレールからボールを水平方向に投射し、その後のボールの自由落下、及び床との反発で跳ね上がったからの放物運動の解析を行う。

実験時の撮影画面を図 2 に示す。撮影画面には物体の運動軌跡が撮影映像と重ねて描かれ、更にもうその上に加速度ベクトルが赤色の矢印で描かれている。ボールが放物運動を行っている際は常に下方方向に加速度ベクトルが描かれており、一様に重力加速度が加わっていることがわかる。

解析により得られた垂直方向に関する時間変化のグラフを図 3 に示す。グラフでは横軸が時間を表しており、緑色の点で位置（高さ）、青色の線で速度、赤色の線で加速度の時間変化が示されている。また、位置は下端をゼロとしており、速度と加速度は中心をゼロとしている。ボールが放物運動を行っている際、グラフからは速度が減少し、加速度が負の値で一定値を保っていることが読み取ることができる。この際の加速度の値が重力加速度である 9.8 m/s^2 と考えられる。

加速度ベクトルとグラフの両方で、重力加速度を観測することができた。

3.2 単振り子の振動運動

直径 40 mm の鉄球を備えた単振り子の振動運動を測定した。振り子の振れ角が小さい場合、位置、速度、加速度のグラフは正弦波形を描く。

運動軌跡が描かれた撮影画面を図 4 に、解析により得られた水平方向に関する時間変化のグラフを図 5 に示す。

位置、速度のグラフからは滑らかな正弦波形を見ることができ、加速度のグラフについてもノイズはあるが正弦波のような形を読み取ることができる。このノイズは位置の小さな誤差が加速度を求める際の微分計算により大きくなるのが原因である。図 5 に示したグラフでは位置の値に 3 点の移動平均が適用されているが、7 点の移動平均を用いるなどより強力な移動平均を適用することにより、滑らかな加速度のグラフを観測することが可能である。

4. まとめ

画像情報を用いた力学実験システムの開発を行い、実験を行った。実験結果では運動を引き起こす力と運動の関係が視覚的に明らかにされており、学習者の運動の定性的理解を強く支援し、科学知理解を得るうえで高い効果が期待できる。現在、本システムの教育効果を検証するため、高校、大学等の教育現場において試験を行っている。

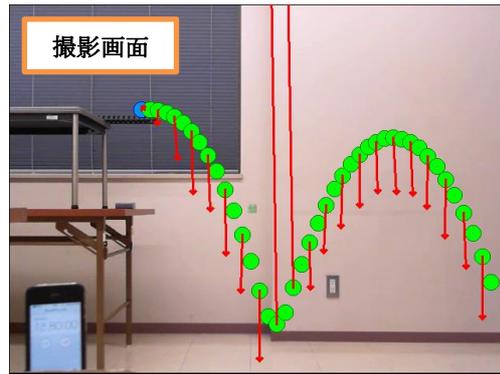


図 2 放物運動の撮影画面

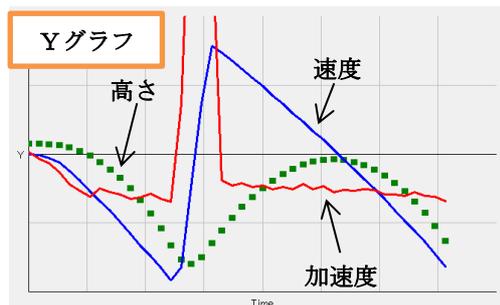


図 3 放物運動のグラフ

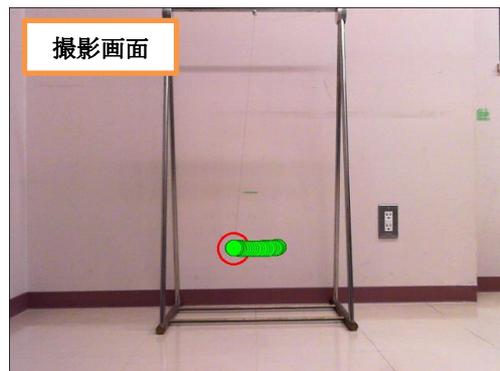


図 4 単振り子の撮影画面

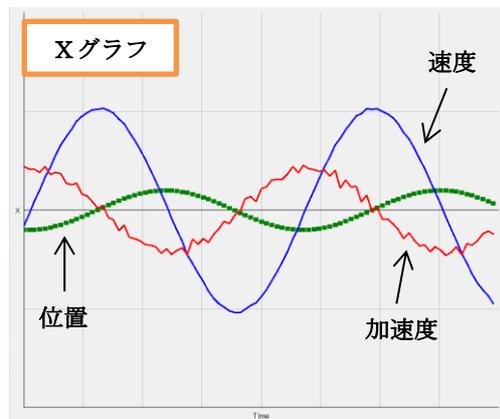


図 5 単振り子のグラフ

参考文献

- [1] 末谷健志：“運動解析システム”を利用した物理学の学習，年会論文集 34，pp.283-284，日本科学教育学会，2010