

「物体の運動」における動画の活用

- ストロボ動画の作成とその活用 -

大久保 政俊

動画を用いた運動の学習を再検討し、新たに開発したソフト(名称「どう見る君」)を使った学習について検討した。このソフトは表示した動画面上に自由に描画ができ、運動の軌跡などを印すことができる。また画像を合成して、ストロボと同じように、物体の像が重なった動画や静止画を作成できる。自分が撮った動画からストロボ動画や静止画を作成・加工して運動の様子を見たり、その画像を印刷し資料として授業の中で活用したりするなかで、運動の面白さや本質が見えてくる。

[キーワード] 中学・高校理科 物体の運動 コンピュータ ストロボ動画 どう見る君

はじめに

これまで、理科の授業で物体の運動を観察したり調べたりするのに、記録タイマーが多く使われているが、ややもすると定量的になりがちで、運動を観察して定性的に考えさせたり、さらに運動の面白さを積極的に生徒に伝えたりする活動が不足している。運動の観察を通じて面白いテーマは実験室ではなく日常の身の回りの現象に多い。しかし、日常生活と関連づけた物体の運動の観察では、物体の運動方向が直線上とは限らず、ほとんどの場合、記録タイマーが使えない。

このような場合、物体の運動を動画として記録して、運動そのものを見る方法がより有効である。NHKの高校物理講座では、自由落下、放物運動、物体の衝突などの力学分野において、まとめの一番肝心の箇所では記録タイマーは全く使われず、いわゆる動画の分析(ビデオトレーサ)が多く使われている。また学校の理科や物理の教科書にも多くのストロボ写真が掲載されている。物体のストロボのスロー動画や合成写真を見ると運動の様子が一目瞭然で、生徒は直感的にその運動の規則性や法則を理解できる。

このことから、運動を記録した動画を単にそのまま再生するのではなく、コマ送りして瞬間瞬間の運動を見ると同時に、その瞬間までのストロボ画像を作成して運動の全体の軌跡を観察

するとより運動の面白さや本質が見えてくる。

ここではその両方の機能を備えた自作ソフト(名称「どう見る君」)を用いて、ストロボ動画を作成し、運動を調べる指導内容を報告する。

1 自分が作成したストロボ動画を見た子供の反応

平成12年の8月、帯広の科学の祭典でコンピュータを使って「音オシロ」で音の波形を見せ、「どう見る君2」でストロボ動画を子供自身に作成させてみた。簡単な指示ですぐにソフトを使いこなし、自分自身で作成して出来上がったストロボ動画を見た子供たちは10人が10人、そろって「すごい!」という声を上げた。音オシロの波形を見て「おもしろい」と反応するのは好対照であった。この「すごい」という反応は、今自分が投げたボールや自分の動きが即ストロボ動画となって見え、それに子供なりに運動の特徴や規則性を直感的に感じた素直な驚きなのだと思う。ストロボ動画は、子供たちに興味や関心を持たせ、驚きを与え、運動の面白さや本質を伝えるのに十分に有効な手法である。



図1 子供のキャッチボールのストロボ動画

2 ソフト（「どう見る君」）の開発

(1) 「どう見る君」開発のねらい

運動の様子を調べるソフトは、これまでにいくつかあるが、どのソフトも動画の上に自由に軌跡を印すなどの描画ができなかった。また、動画からストロボのような合成画像を作成するのは市販の画像処理ソフトでなければならず、さらに連続した動画のストロボ画像作成には時間がかかり、容易ではなかった。そこで、この両方が簡単にできるソフトの開発を目標とした。開発言語としてDelphi5.0を使用した。

(2) 「どう見る君」の特徴

「どう見る君」の特徴として2つあげられる。

1つは動画の上に自由に点・線・図形などの線画や塗りつぶしの描画をできるようにした。この描画面は動画を再生しても独立した一つの面（レイヤー）として表示され、動画がその下に透過される。

2つは動画からストロボのような画像を簡単に合成できるようにした。実際に、2通りの方

法で合成できる。動画画面から任意の部分を切り出して別の動画画面に貼り付け合成する方法と、切り出し貼り付けはせずに自動的に画像合成する方法である。これら2通りの方法で合成したストロボ画面の上からも自由に描画はできる。

3 「どう見る君」による画像の合成

(1) ストロボ画像の自動作成

「どう見る君」を起動させると図1のような画面になり、画面左上の[File]から動画ファイルを開くと、二つの画面に連動して動画が表示される。図2の左画面では、等速度運動している力学台車から真上に投げ出されたピンポン玉の運動を再生している。画面左下の「自動画像合成」のボタンを押すと自動的にストロボ画像を作ることができる。図2の右画面は、左画面のその瞬間までの運動の全体の軌跡に対応したストロボ合成画像（ストロボ動画）を表示している。



図2 ストロボ動画の作成

(2) 異なる2つの画面の物体の合成の原理

AVIファイルの1コマずつはBMPファイルで表示されている。BMPファイルは多くのピクセルが集まって1つの画面を表している。今、画面上で背景が共通で（背景が動かず）、物体が移動したとする。この移動前後の2つの動画の画面（BMPファイル）上の対応する各点ごとのピクセルどうしのカラー（0~255の数値で表現される）の差を求めると、画面の中で同じカラーのピクセルのところは差が0になり、値が異なるピクセルでは0以外の値になる。こうして差を求めて得られた画像では2つの元画像の異なる部分だけが強調される。これは画像処理では減法処理と呼ばれ、天体の星の移動や位置をつき止めるのに使われてきた。

この方法を使い、移動する前のもとの画像との明暗を比較し、物体が背景に対して明るいあるいは暗いかを判定して合成すると、移動前と移動後の両方の物体の画像が同時に合成されて表示できる。

(3) 切り出しはりつけによる動画の合成

物体の落下や放物運動などでは、単純な合成を繰り返しながら動画を再生すると、運動している物体の軌跡がおおよそ理解できるが、単純な合成や再生だけでは理解しにくい運動もある。

単振動や波の運動などは物理の教科書に掲載されている写真のように横や縦にずらしながら合成したり、あるいは再生することで単振動と正弦関数の関係や波の遅れや伝播などがわかる。

具体的な例として、ばねの先につけたおもりの単振動のAVIファイルをソフトで読み込んで、ソフトの画面上の左側の動画面中のおもりとバネの部分を、四角に切り出し、1コマずつ右横にずらしながら右画面上に合成する、と同時にAVIファイルのコマを作る（図3）。この動画の合成より、単振動の変位がsin関数で表示されることが理解できる。また、1コマずつ再生すると順々に右側にずれていく動画になり、単振動と正弦曲線の関係がより直感的に理解できる。

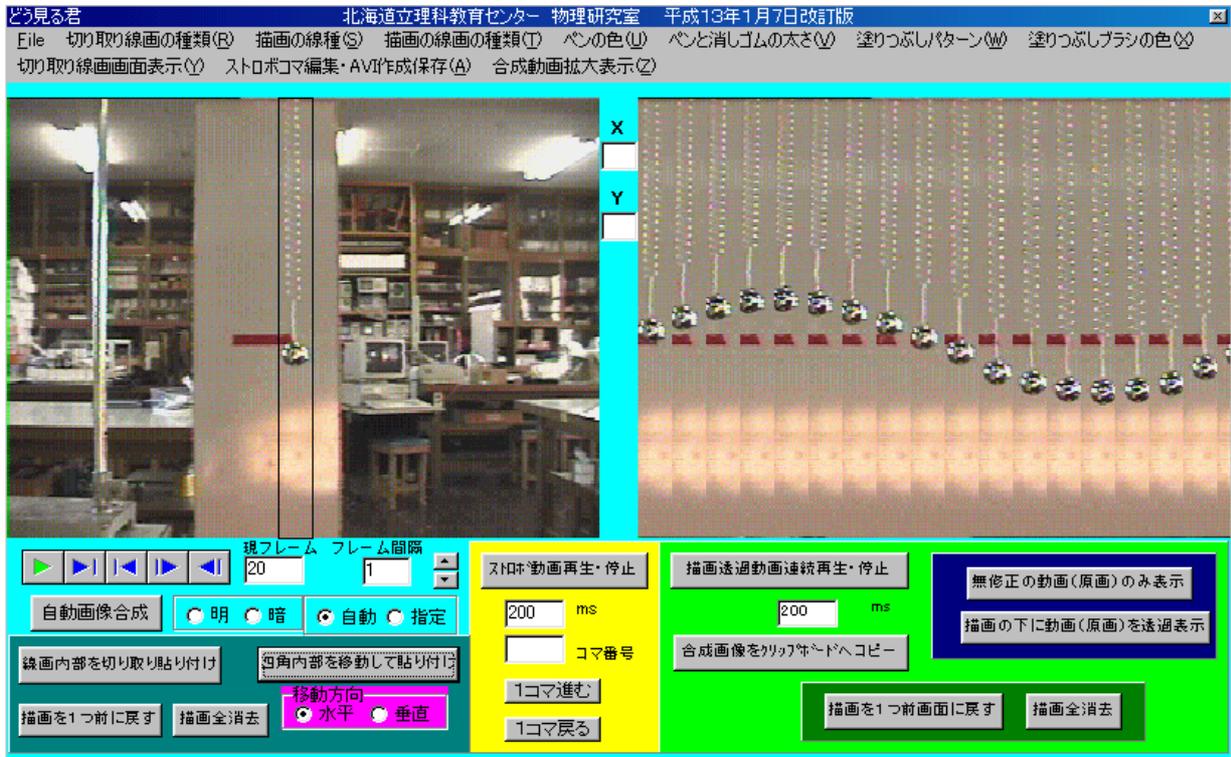


図3 単振動の画像を切り取り、横に移動させながら順々に合成して表示

4 物理におけるストロボ動画の活用例

動画を合成して、ストロボの動画にして見せると、運動の軌跡が視覚的によくわかる。また画面上に点や線などを書いて運動の規則や法則性を調べることができる。これにより、これまでその運動が瞬間的にしか見えず、よくわからないという理由で授業の中で取り上げにくかった実験を、実際に行うことが可能になった。

(1) 大きさのある物体の放物運動を見る

大きさのある物体を放り投げて、その運動の本質（重心が放物運動すること）が、瞬間的に見てわからなかったが、ストロボ動画を使うことにより、全体の軌跡がわかり、さらに合成画面に重心を印していくことで、重心の運動がはっきりとわかる。これにより、放物運動が、大きさのある物体を投げるときにも、常に実現していることを容易に実感できる。

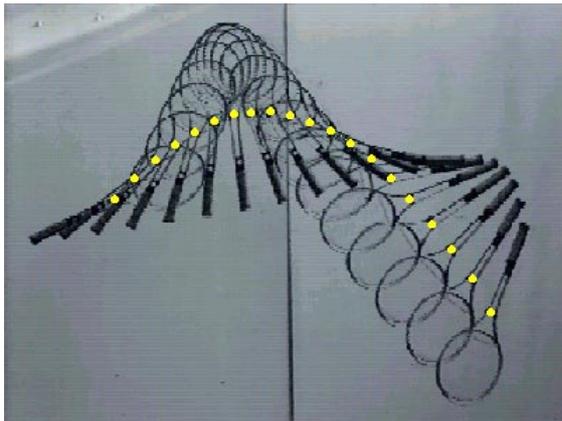


図4 テニスラケットの重心を点で描画

(2) 力学台車の等速直線運動を見る

中学校の多くの教科書では等速直線運動の実験として滑らかな水平面上での力学台車の運動が取り上げられ、実験が多くなされている。

ところが、力学台車が等速直線運動していることを瞬間的に見てもよくわからない。そこで記録タイマーのテープの打点の間隔を使って等速を定量的に確かめていた。しかし、実際の動きをストロボ動画で見ると定量的な説明なしに生徒は納得する。しかも、ストロボ動画で見ると等速直線運動が実に面白く見える。また、ス

トロポ動画を見ることで、なぜ、力学台車が近似的に等速直線運動するのだろうかという、本質的な問いを生み出す強い動機付けにもなる。

ストロボ動画という視覚に直に訴える手法により、力学台車を使った等速直線運動の実験を新しい視点で見直すと、より興味をもって等速直線運動の本質の理解にせまることができる。



図5 力学台車による等速度運動

(3) エネルギーの変化を見る

運動エネルギーや位置エネルギーの変化を実験で理解することはなかなか難しいが、物体が位置している高さが増える運動をストロボ動画にして見ると、間隔の変化から運動エネルギーの変化を、高さの変化から位置エネルギーの変化を読みとることで、それぞれのエネルギーの変化や移り変わりを読みとることができる。



図6 凹凸のあるレール上のボールの運動

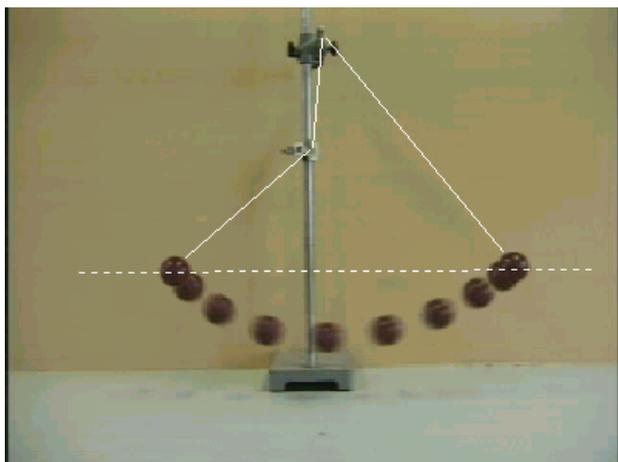


図7 途中で糸の長さが変わる振り子の運動

(4) 分裂における運動量保存則を見る

(授業実践 高校2年物理 茨城県立鉾田第一高等学校 関口隆司教諭による資料提供)

運動量保存の実験は定量的な面で、なかなかよい方法がなかった。ここで紹介する授業実践は分裂の実験の動画からストロボ動画を作成し、その画像を画像編集ソフト花子に貼り付けて、分裂前と分裂後の運動量を、花子の線画で、線ベクトルとして表示している。さらに、画面上で、分裂後の運動量のベクトル和を線ベクトルの和で表示することで(図8),分裂前の運動量の和(質量が同じなので1個の運動量の2倍)と分裂後の運動量の和が等しいことを視覚的に理解することができ、非常に説得力がある。

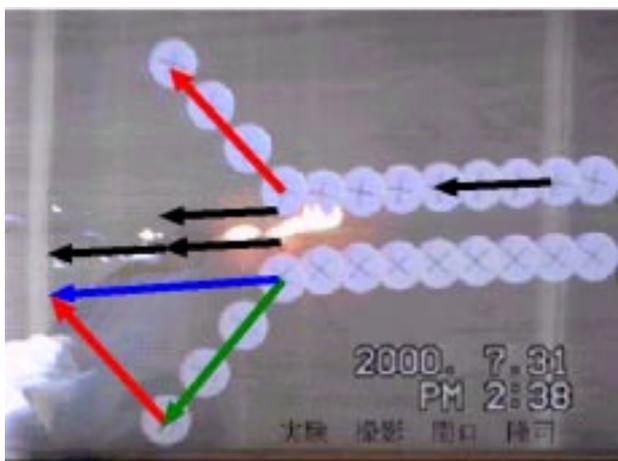


図8 質量が等しい2つの物体への分裂

5 物理以外の他の分野での活用

物理以外の分野でも動画ファイルがあれば、「どう見る君」を学習時に使うことができる。

(1) 台風の動きを見る(地学分野)

台風の進路などはインターネットから動画をダウンロードして分析すると興味深い。図9は2つの台風の目の進路をそれぞれ違った色の点で印し、さらに進路の方向が変わる緯度に直線を引いて示すと、偏西風の影響がわかる。

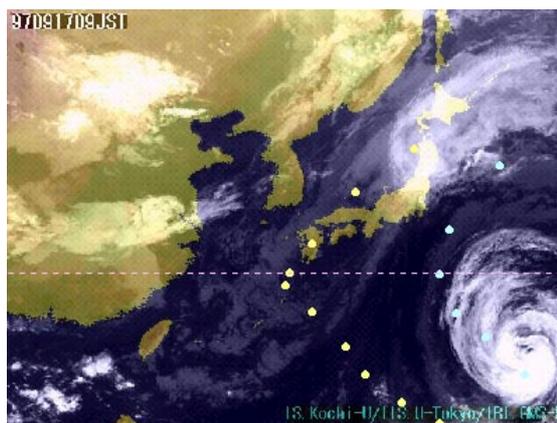


図9 2つの台風の進路

(2) ワラジムシの歩きを見る(生物分野)

(授業実践 高校理数科課題研究 富山県立富山高校 清水稔教諭による資料提供)

ワラジムシの動きをたどるのに大変有効である。ワラジムシが普通に歩行する場合は蛇行しないが、迷路を歩かせて、触覚を使って壁に沿って歩くとときに、蛇行するのがよくわかる。



図10 ワラジムシの蛇行

6 動画の加工による教材づくり

元の動画（原画）ファイルからストロボ動画を合成したり点や線などの図形を描き込んで作成した動画（AVIファイル）や静止画は、保存することができる。これらの動画や静止画を再度コンピュータの画面に表示したり、あるいは、印刷して配布することで、授業で教材として使える。教科書に載っているストロボ画像を簡単に作成できることは、授業のやり方をより実験を中心とした方向へ変えることになる。

次の図11は、図1の放物運動の合成画面の上に縦・横の目盛りを描き、水平と鉛直方向の運動を調べるワークシートを作成したものである。



図11 運動を調べるワークシートの作成

また、作成したストロボ動画を、コンピュータの画面上で、任意の大きさで拡大表示できるので、プレゼンテーションにも有効である。

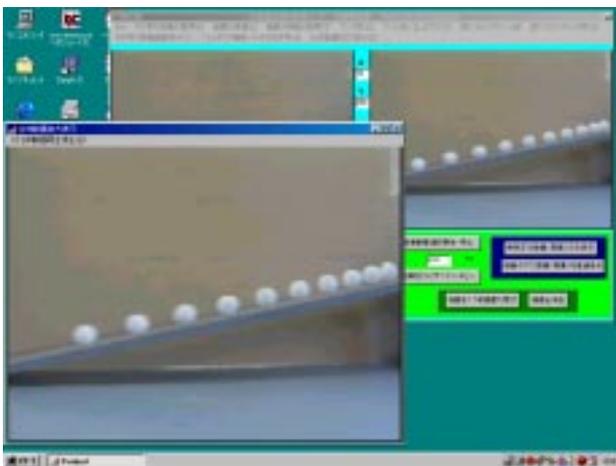


図12 ストロボ動画の拡大表示

7 デジタルカメラによる動画

(1) デジタルカメラの動画撮影は簡単

最近のデジタルカメラには静止画はもちろんのこと動画を簡単に撮影できるものがある。これを使えば動画の作成のためにビデオカメラやビデオキャプチャーボード等をわざわざ用意する必要はない。例えばCASIO, SANYOのデジタルカメラは直接AVIファイルを、シャープはMPEG4ファイルを、ソニー、日立はMPEG2ファイルを出力保存できる。また、画質やフレーム数はだいたい落ちるがAVIファイルの動画が撮れるデジタルカメラがバンダイなどから1万円を切って販売されている。いずれにしても、手軽にしかも簡単に動画が撮れるということで、物体の運動は、デジタルカメラで充分扱えるようになってきた。また、最近のデスクトップコンピュータはデジタルカメラの利用を考えてPCカードスロットが内蔵されていて、デジタルカメラの動画ファイルをスマートメディア等を介して読めるようになっている。これによって生徒の目の前で見せた物体の運動を即コンピュータ上で動画として再度見せることが可能となり、1時間の授業の中でも十分に動画を使える環境となってきた。

(2) ストロボは明るい部屋で？

デジタルカメラの使い始めはいわゆる昔のストロボ撮影のイメージがあって、暗幕を背景にして白いボールの運動などを撮っていたが、なかなかぶれやコマ落ちのないきれいな動画が撮れなかった。そのうちシャッタースピードの自動調整に気付いてからは、なるべく明るい白背景（白い壁など）に、黒い色の物体を使っている。白い壁がない場合は青空が見える窓を背景に黒っぽいボールなどを投げて撮影している。昔のストロボ撮影といえば暗幕やストロボの準備など大変であったが、デジタルカメラは全く必要がない。窓の多い明るい教室はデジタルカメラを使ってストロボ動画を作るには最適の場所である。図13は窓を背景に落下するボールをデジタルカメラで撮影し、「どう見る

君2」(生徒仕様)で作成したストロボ動画である。



図13 窓を背景に黒色のボールを落下させる。(デジタルカメラはSHARP VN-EZ1を使用)どう見る君2を使用して合成

8 「どう見る君」のOSや機種依存性

Windows2000はWindows95,98とシステムの管理が異なるので「どう見る君」の動作に多少の不安があったが、実際に起動させるとスムーズに動くことがわかった。また、APPLEの Power Book G3に Soft Windowsをのせるとこの動画ソフトが動くこともわかった。この動画ソフトはメモリ上で動画と描画を別々に処理して合成しているので(ダブルバッファ)、メモリ管理がWindows95,98と同じしくみであればOSや機種によらずソフトを動かすことができる。

9 今後の課題と展望

(1) 生徒仕様ソフト(「どう見る君2」)の作成とそれを使った実践

「どう見る君」は全ての機能を盛り込んだので、教師が使えたとしても生徒には簡単に使えるようになっていない。動画の合成や描画など、それぞれの目的・用途に応じて機能をしぼり、生徒の使いやすいソフトを作る必要がある。まず、手始めとしてストロボ動画を自動合成するだけの機能を持たせた「どう見る君2」を作った。操作ボタンが大きく、ボタンの表示の文字も、ひらがなで子供たちの言葉で操作がわかるものにした。(図13)

すでに1で紹介したように、動画のファイルをあらかじめ用意すれば、小学校の低学年の子供でさえ簡単に操作できることがわかった。このソフトを使った授業実践をもとに、子供の声を聞いて評価・改良していきたい。

(2) 多様な動画形式に対応するソフトの開発と改良

物体の運動に関して、動画をファイルとして記録する場合、いろいろな形式が考えられる。そこで、いろいろな形式の動画ファイルを使用できるようにソフトを改良し、機種によるグラフィックチップの違い(ハードウェアの働き)を減らして極力ソフト上で原始的に(API関数を直接使って)再生し、1フレーム毎にBMPファイルで表示するようにした。そのため再生速度や時間はかかるが、ストロボ動画では物体の運動をゆっくり見るのが主な目的なので現時点ではがまんせざるを得ない。このソフトでは、AVI(未圧縮,圧縮),mpeg,mov,qtファイルを再生できるが、ストリーム形式のasfファイルはまだ再生できない。再生速度を落とさず、AVI(圧縮),mpeg,movファイルを扱えるようにするにはDirectXを直接使うしかなく、開発にはまだまだ時間がかかるが検討し改良していきたい。

(3) 動画ライブラリーの構築の必要性

デジタルカメラで簡単に動画が撮影できるとはいえ、自分の思い描く実験の動画がすぐできるとは限らない。また、忙しくて動画が撮れない場合もある。そのために、授業ですぐに使えるいろいろな物体の運動の動画をファイルとして数多く集めておく必要がある。

さらに、いろいろな学校でより広く使ってもらうためにはホームページから動画を自由にダウンロードして使えるような動画のライブラリーを構築する必要もある。また、授業の中で動画を使ってすぐ運動の特徴を見せるためには動画を単に再生してみせるのではなく、ストロボ動画にしたり、描画を加えるなどして、生徒にわかりやすく加工編集した動画を見せる必要がある。いずれにしても授業の中身をわかりやすく

支援する動画データの蓄積，動画ライブラリーの構築が今後の重要な課題である。

(4) 実験の工夫と見直し

物体の運動を動画として記録し，さらに「どう見る君」を使ってストロボ動画にすると，運動の瞬間瞬間のようすと同時に，全体の運動の軌跡もはっきりわかる。このことは，あまりにも予想や理論と異なるあいまいな実験やそれに対応する動画は許されないということの意味する。実験装置や方法などを工夫したり見直したりすることでより生徒に説得力のある実験をしてその結果として動画を記録し分析することがより大切になってくる。

この意味で，このソフトは動画を活用するだけではなく，動画を通して実験そのものをチェックする重要な手段となりうる。

一例として，ボールを使って反発係数を求める実験を検討する。これまでの方法では，あらかじめ決めた高さからボールを床に落として，定規を背景に跳ね上がるボールの最高の高さを目測をし，両方の高さの比から反発係数を求めていた。目測一回では誤差があるので数回行って平均をとっている。これと比べ，動画から，図14のような跳ね上がりの繰り返しのストロボ画像を作成し印刷すると，隣同志の跳ね上がった高さの比から反発係数を求めることができる。



図14 水平面でのボールの跳ね返り

これまでの目測による実験では，反発係数を正確に求めようとするあまり，高さを何回も目測するのに苦労して，反発の現象そのものを考える時間や余裕がなかった。しかし，ストロボ

動画にすることで跳ね返る現象そのものの面白さを味わいながら，反発係数をより正確に求めることができ，衝突の本質にもせまることができる。例えば，複数の跳ね上がりの高さの組み合わせから，反発係数の値が幾種類か求まるので，高さの違いによる反発係数を検討してみるといろいろと興味ある課題が生まれてくる。

(5) 新学習指導要領と関わって

新学習指導要領の中学校理科では，従前に比べて，「目的意識」をもった主体的・意図的な「観察，実験」を行うことが強調されている。また高等学校理科では「発見する喜び」や「創る喜び」の体得が強調されている。

生徒自身が，「目的意識」をもって主体的・意図的な「観察，実験」をして，物体の運動の様子を動画として記録し，さらに，コンピュータ上で「どう見る君」を使って，合成や描画などをして新たな情報を付加した動画を「創る喜び」や，それを見て物体の運動のなかに規則性や法則を「発見する喜び」を体得することができる。

10 まとめ

物体の運動している動画を「どう見る君」を使って合成表示したり，加工して新たな動画や静止画ファイルを作成し，それを見ることにより，運動の様子をより視覚的・直感的に理解する中で，運動の面白さや本質がみえてくる。

参考文献

- 天良和男 知的実験ツールとしてのパソコン活用 東京電機大学出版局 1991.1
 互野恭治 VisualBasicでエンジョイプログラミング CQ出版 1999.10
 渡辺祐治 ビデオ画像を利用した運動解析 科学技術教育研究紀要 第7号 三重県総合教育センター 1997.3
 田中尚 ビデオ画像を利用したパソコン物理計測 研究紀要第200号 物理実験教材の開発とその指導に関する研究 パソコン計測の活用 岡山県教育センター 1997.3
 竹本恵一 研究紀要 香川県教育センター 1999.3
 大久保政俊 画像で学ぶ物の運動 研究紀要 第10号 北海道立理科教育センター 1998.3
 RodStephens 松葉素子 画像処理プログラミング ソフトバンク 1998.12
 大久保政俊 動画を用いた運動の学習 物理教育 第48巻 第5号 2000.12
 (おおくぼ まさとし 物理研究室長)