

琉球大学学術リポジトリ

慣性力の理解支援のためのソフトウェアの開発

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学教育学部 公開日: 2007-08-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 川満, 公乃, 石黒, 英治, Kawamitsu, Satono, Ishiguro, Eiji メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/1420

慣性力の理解支援のためのソフトウェアの開発

川満 公乃* 石黒 英治*

Development of a computer software for understanding the inertial forces

Satono KAWAMITSU* and Eiji ISHIGURO*

A learning software has been developed to assist in understanding the inertial forces. The software was composed of 3 parts, the introductory animation part, the explicative animation part and the video image part for experiments to intend for a wide age group between schoolchildren and university students. Since the inertial forces appear when a motion of an object is observed from a non-inertial (accelerating) system, 3DCG (3D-Computer Graphics) softwares are useful to draw the animations. However, the softwares are not practical because they require a huge amount of memories. Therefore we used a technique with which 3DCG images could be converted into 2D ones. We asked nearly two hundred students of junior high school, senior high school and college questions about the software for the evaluation after they used it.

1 はじめに

車が加速をする際、車中の人には後方に倒されるような力を感じたり、カーブする際には外側に押されるような力を感じる。このような力を慣性力といい、高校物理で扱われている。しかし、慣性力は実在の力と異なり反作用の力を伴わない「見かけの力」であり、教育現場では理解させるのが難しいと言われている概念の一つである。

今日 Web 上や、コンピュータ用プログラムとして種々の教材ソフトウェアが多く存在する。物理分野においても Java や Flash などを用いて、物理現象や実験のシミュレーションを行うソフトウェアが数多く見られる。しかしながら、物理学習を系統的な筋道で支援するソフトウェアはあまり見かけない。特に、本研究のテーマである“慣性力”に関しては、調べた限りにおいて皆無であった。これは慣性力という概念が容易に理解できるからとは言えない。むしろ物理を教える教師にお

いて、教えることも理解させることも難しいと考える人が少なくないのが実状である。しかし、慣性力は日常経験で感じる機会が多いことから、理解を支援する適切な教材があれば、物理に興味を抱かせるのに適した素材であり、興味をもつ生徒も少なく無いと思われる。

慣性力は、物体の運動を加速系から観察するときに現れる力であり、観察・視点の違いによって生じる。そのため慣性力の理解には、物体の運動を異なる座標系や視点から観察したときにどのようなのかを示すことが手助けとなる。現在、六角大王や Java 3D などの 3DCG (3-Dimensional Computer Graphics) 作成ソフトウェアは、無料で使えることもあり手軽に利用できる環境になっている。これら 3DCG 作成ソフトウェアは座標の変換が容易であり、視点を自由に設定できるので慣性力の学習用ソフトウェアを制作するには非常に適している。しかしながら、3DCG 作成ソフトウェアを用いる際には、アニメ

* 琉球大学教育学部理科教育専修

* Department of Natural Sciences, Graduate School of Education, University of the Ryukyus

メーションの制作上の困難さや、膨大な容量を必要とするなど実用上いくつかの大きな問題点がある。そのため、2Dのソフトウェアを用いながら3D的効果が得られる手法を用い、それらの問題点を解決することを目指すこととした。また、学習意欲を刺激し、慣性力に関する様々な物理現象に興味を持てるよう、アニメーションを主体に構成することにした。

本研究の目的は、以下の①～⑤の観点から、慣性力の理解を支援するソフトウェア開発することである。

- ① 3DCG作成ソフトウェアを用いてアニメーションを制作し、視覚的にも楽しめるような内容にする。
- ② 現実では理解し難い観察視点の違いにより生じる見かけの力を、実験映像を通して理解できるようにする。
- ③ 車に乗っているときに急ブレーキをかけると身体が前につんのめったり、カーブの際には身体がカーブの外側に傾く。このような誰もが体験したことのある慣性の法則によって生じる現象を取り上げ、ソフトウェア学習者の実体験と関連させ理解できるようにする。

- ④ 学習段階に応じて理解を深めていけるよう構成し、段階別に説明をする。
- ⑤ 本ソフトウェアを通して、現実の物理現象にも興味関心が持てるような内容にする。

2 ソフトウェアの構成と特徴

本ソフトウェアで取り上げるテーマは、「慣性」、「遠心力」、及び「コリオリの力」の3つの慣性力である。図1に示すように、テーマ毎に「導入アニメーション」、

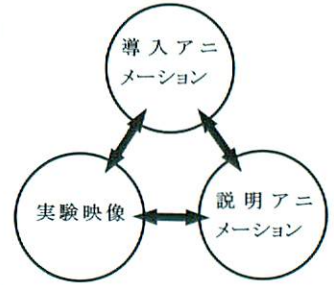


図1. ソフトウェアの構成

「実験映像」及び「説明アニメーション」の3つのアニメーションにより説明される。「導入アニメーション」により日常との関連性を深め、「実験映像」により現実には体験することが難しい視点の違いを映像を通し確認し、その現象がなぜ起こるのかという説明を「説明アニメーション」により理解

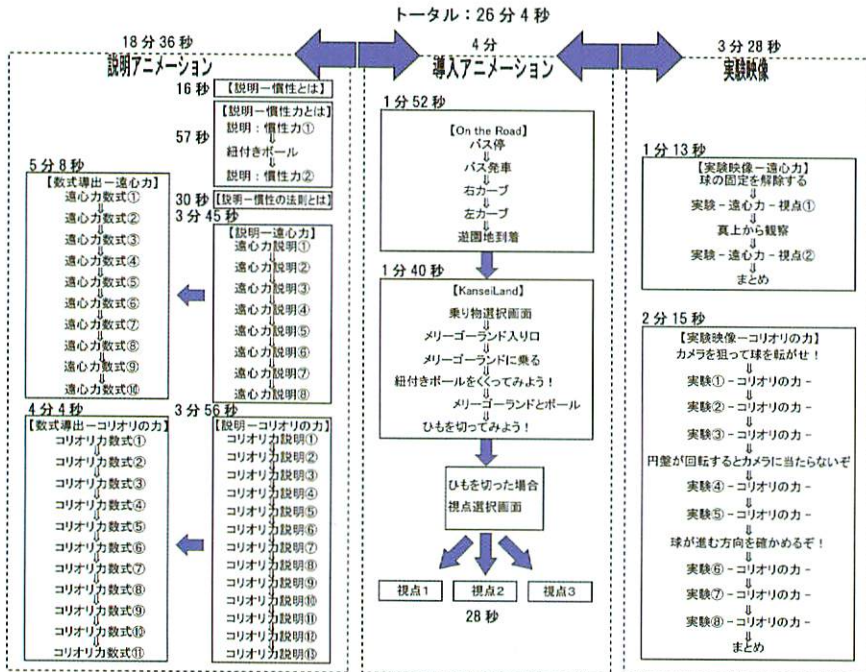


図2. ソフトウェアの構成内容と再生時間

するという構成である。実験映像とアニメーションを1つのソフトウェアに納めることにより、実験映像では理解し難い点をアニメーションの説明を通して補うことができる。また逆に、アニメーションではイメージにつながらない点を、実験映像により実際の現象と結びつけて考えることができる。このようにこれら3つのアニメーションは相互に関連した構成となっており、学習者によって学習段階や、興味の度合により自由に選択できる。図2に各アニメーションの構成内容と再生時間を示す。全体の再生時間は約26分である。さらに、説明アニメーションの中には意欲ある学習者のために、数式導出まで行えるようにした。

本ソフトウェアの特徴は、日常の体験を通して学ぶ内容から、物理として学習する内容まで広い学習レベルに対応していることである。学習者に対し、慣性に関する特別な知識や学力を前提にしていなかったため、小中学校から、高校、大学までの長期間において使用可能な学習用ソフトウェアである。また、3DCG作成ソフトウェアを用いて制作したことにより、アニメーションに立体感やリアリティーを持たせていることである。

3 ソフトウェアの制作方法

3-1 制作に使ったソフトウェアと制作手順

本ソフトウェア制作のために使用した、市販のソフトウェアとフリーソフトウェアの簡単な概要を以下に示す。

1) FlashMX

アドビシステムズ(旧Macromedia)が販売する、音声やベクターグラフィックスのアニメーション、ゲーム、ウェブサイトのナビゲーション等のコンテンツを作るためのソフトウェア。同社の「Director」に似ているが、Directorに比べ高度な機能は劣るが操作が容易である。図形をベクター形式で管理しているため、ウィンドウサイズを変えても画質が劣化せず再生環境への依存度が低い。また作成されたファイルのサイズが小さい。Flashによって作られたファイルを開覧するには、Webブラウザに専用のプラグイン「Flash Player」をインストールしておく必要がある。Flash自体は有料だが、

Flash Playerは無料で配布されている。

1) Plasma

オートデスク株式会社ディスクリートディビジョンが販売した、FlashやShockwave形式への書き出し機能を標準で備えたWeb用3DCG作成ソフトである。Flashで3Dコンテンツを作成する場合、2次元のイラストを用いて擬似的に3Dに見せる必要があるが、plasmaを使用することにより、実際に作成した3Dオブジェクトでアニメーションを作成し、簡単にFlash形式などのWebアニメーションに書き出すことができる。ただし、現在は製造中止となっている。

3) 六角大王

株式会社終作が販売する3次元コンピュータグラフィックスソフトウェアである。直感的で比較的誰にでもすぐ扱えるインターフェースを採用し、2次元のドローツールと同じ要領で線画を描くだけで3次元形状を入力することができる。フリー版と製品版がある。

4) Director

アドビシステムズが販売するオーサリングツールである。CD、DVD、イントラネット、キオスク端末、インターネットユーザーを対象とし、ハイパフォーマンスマルチメディアコンテンツやアプリケーションを制作することができる。

5) AdobeIllustrator

アドビシステムズが販売するベクトル画像編集ソフトウェアである。ベジェ曲線をハンドリングすることで、簡単かつ強力な描画が可能である。文字入力、着色、その他多くの機能があり、イラスト制作や印刷物のデザイン等DTP業界のデファクトスタンダードとなっている。さらに、他のソフトウェアとの密接な連携により、印刷やビデオ、Web、モバイルデバイス用のグラフィックが作成できる。

6) AdobePhotoshop

アドビシステムズが販売するビットマップ画像編集ソフトウェアである。商業印刷や画像編集などあらゆる画像分野で使用されている。また、さまざまなフィルタやプラグインを使用することにより機能を拡張することができる。更に、多くの画像フォーマットに対応しておりべ

クトルデータも扱える。

以下にソフトウェアの大まかな制作手順を記す。

- ① アニメーションに必要な、立体的な物体やキャラクタを六角大王や plasma を用いて制作する。
- ② 手順1で制作した物体やキャラクタを, plasma を用いて3Dアニメーションとして制作する。
- ③ 手順2で制作した3Dアニメーションを2D化し, Flash に書き出せるようレンダリングする。
- ④ 手順3で制作したファイルを Flash に読み込み, ステージに配置する。
- ⑤ Flash において, plasma から読み込んだアニメーション以外に必要なアニメーションを制作する。
- ⑥ 手順⑤で制作したファイルをパブリッシュし, Director に読み込めるようにする。
- ⑦ ビデオカメラを用いて実験を撮影する。
- ⑧ 撮影した実験映像を Windows ムービーメーカーに読み込み編集する。
- ⑨ Director のキャストに手順⑥, ⑧で制作したファイルをキャストに読み込む。
- ⑩ ソフトウェアに必要なボタンをIllustratorを用い制作し, Photoshop に読み込み gif ファイルに書き出す。
- ⑪ 手順⑩で制作したボタンを必要に応じて, Flash を用い時間的な変化をつける。
- ⑫ 手順⑩, ⑪で制作したボタンを Director のキャストに読み込む。
- ⑬ Director において, 読み込んだキャストをステージに配置し, チャンネルやインスタクタにおいて編集する。
- ⑭ 手順⑬で制作したファイルをパブリッシュし, 実行ファイルに変更すると学習用ソフトウェアが完成する。

3-2 3 DCG 作成ソフトウェアによる描画

3 DCG 作成ソフトウェアでは物体を見る視点が自由に設定でき, この機能は慣性力を扱うときに極めて有効である。Plasma を用い作成したアニメーション画像の一例を示す。図3は回転して

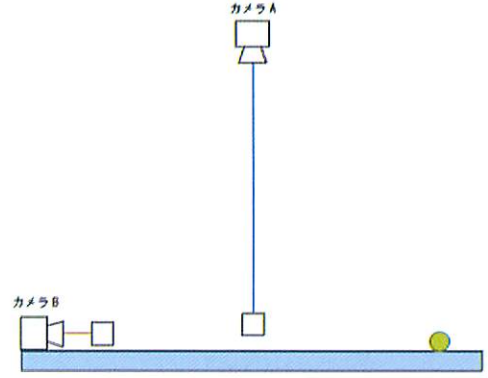
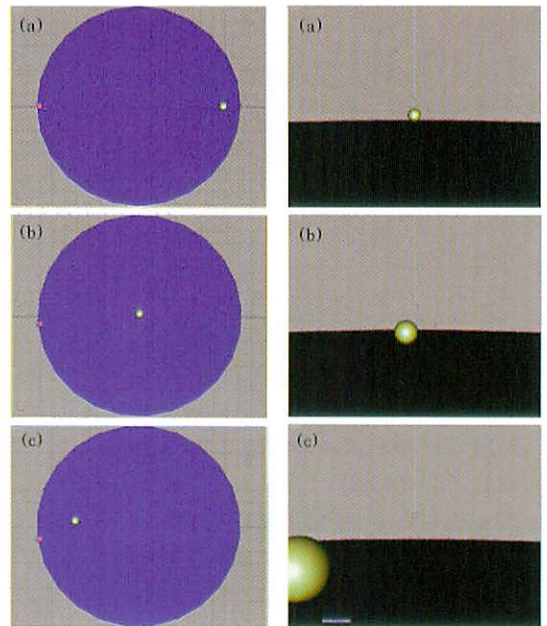


図3. 回転している円盤上の球の運動の観察。
2つの視点(カメラAとカメラB)が設定されている。

いる円盤を真横から見た図であり, 円盤の上には球が固定されている。ある時刻に, 球は円盤の回転中心に向かって投げられたとする。その後の球の動きを, 2つの視点から観察する。円盤中心の真上に置かれ, かつ空間に固定された視点(カメラA)で観察した場合と, 球と反対方向で円盤上に固定された視点(カメラB)で観察した場合を図4に示す。カメラAから観察すると, 球は単に



カメラAから見た球の動き カメラBから見た球の動き
(円周上の赤い点はカメラBの位置を示している)

図4. 視点の違いによる球の動き

直線運動しているだけであるが、カメラBから観察すると、球がカメラに近づいて来るに従いカメラから外れてカーブしているように見える。このカーブさせている力がいわゆるコリオリの力である。このように3DCG作成ソフトウェアでは、視点を設定するだけで異なった座標系から見た動きを描画することができる。

4 ソフトウェアの内容

4-1 導入アニメーション

クマとウサギのキャラクタを主人公として、彼らがバスに乗車し、バスの発進やカーブ時に身体や床に置かれた球が動き出す、という一連の動作がアニメーションになっている。その後、主人公は遊園地に到着しメリーゴーランドやフリーフォー

ルに乗り、円運動における慣性力や無重力状態を体験する。この導入アニメーションの目的とするところは、だるま落としで遊ぶことを通して慣性という物体の性質を捉えるように、日常の中で誰もが体験したことのあるような慣性力を取り上げ、身の回りにおける慣性力に気付かせるようにすることである。対象者は小学生以上と想定している。

アニメーションの一部である2つのシーンを図5に紹介する。(a)ではバスが発進すると、バスの中にある球が動き出す。その動きを乗車していたウサギを正面としてアニメーションにした。バスは停止していたため、車中にある球は慣性により静止し続けようとする。バスが発車すると、静止し続けようとする球は、クマやウサギの視点からは動き出したように見える。何かからも力を受けていない球が動き出すように見えることから、物体の「慣性」に気づかせ、同時に実生活と関連付けることで身近にある力であることを理解できる。(b)は紐のついた球がメリーゴーランドの柱に結び付けられ、回転しているシーンである。続くシーンで、紐を切ったあとの球の動きを3つの異なる視点から観察し、球が直線運動をするように加え、球の進行方向がメリーゴーランドの回転台に対して、接線方向であることを示す。

なお、(a)あるいは(b)のシーンにおいて、画面左側に配置されている「慣性」、「慣性力」、「慣性の法則」、「遠心力」及び「コリオリの力」のボタンをクリックすることにより、それぞれの説明アニメーションを起動することができる。同様に、画面右側に配置されている「遠心力」及び「コリオリの力」のボタンをクリックすることにより、実験映像を起動することができる。

4-2 説明アニメーション

「慣性」、「遠心力」及び「コリオリの力」に分類し、これらの概念やなぜそのような力が生じるのかをアニメーションを通して理解できるようになっている。ここでは、コリオリの力についてのみ簡単に紹介する。

第3章、3-2節では回転している円盤上に固定されていた球が、円盤の回転中心に向かって投げられたときの球の運動を2つのカメラで観察したが、ここでも同じ状況を設定する。図6(a)は

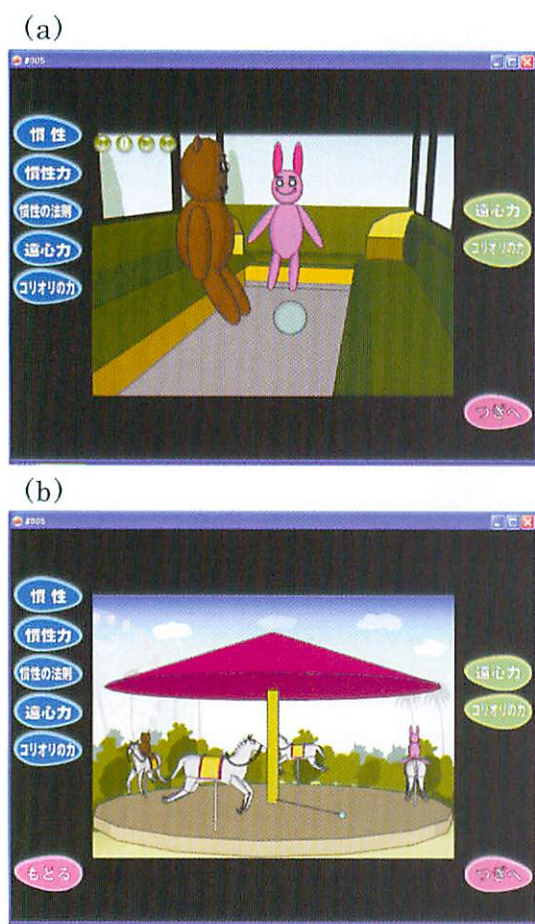


図5. 導入アニメーションのシーン

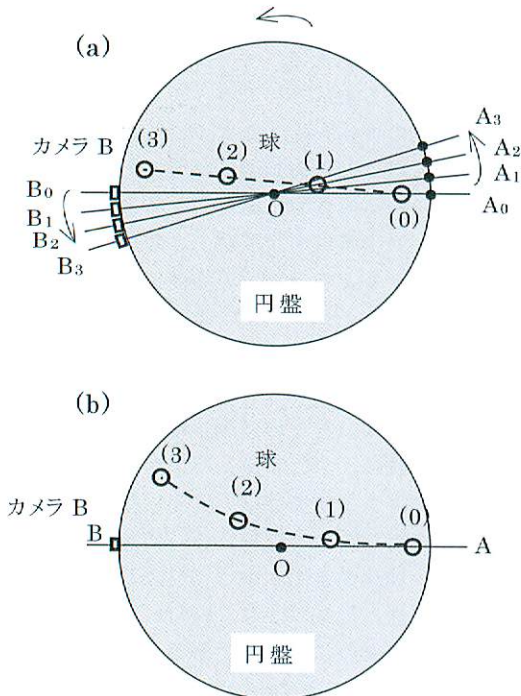


図6. コリオリの力の説明

円盤の真上にあるカメラAから見た球の動きを示す。球は円盤の中心Oに向かって投げられたが、円盤が回転しているため投げられた瞬間の位置(0)において、円盤の回転による速度成分をもつ。したがって、球は円盤の中心から少し外れ、(0) → (1) → (2) → (3)の経路で等速度直線運動を行う。円盤は回転しているため、円盤に固定されたカメラBも移動する。一方、カメラBの視点に立てば、基準となる座標系は円盤に固定されているので、球の動きはカメラBと中心Oを結ぶ直線ABを基準として見ることになる。図6(b)は、球の位置(0)、(1)、(2)、(3)に対応する基準線ABを一致させ、球の位置を描き直したものである。すなわち、基準線ABからの球の位置のずれである。時間とともに基準線ABからのずれが急速に大きくなり、球がカーブしているのが分かる。

このようなコリオリの力を説明する、本ソフトウェアのアニメーションの数シーンを図7に示す。シーン(a)は、球が中心に向かって投げられたとき、円盤が回転しているため中心を通らないことを示す。シーン(b)では、円盤の真上のカメラ

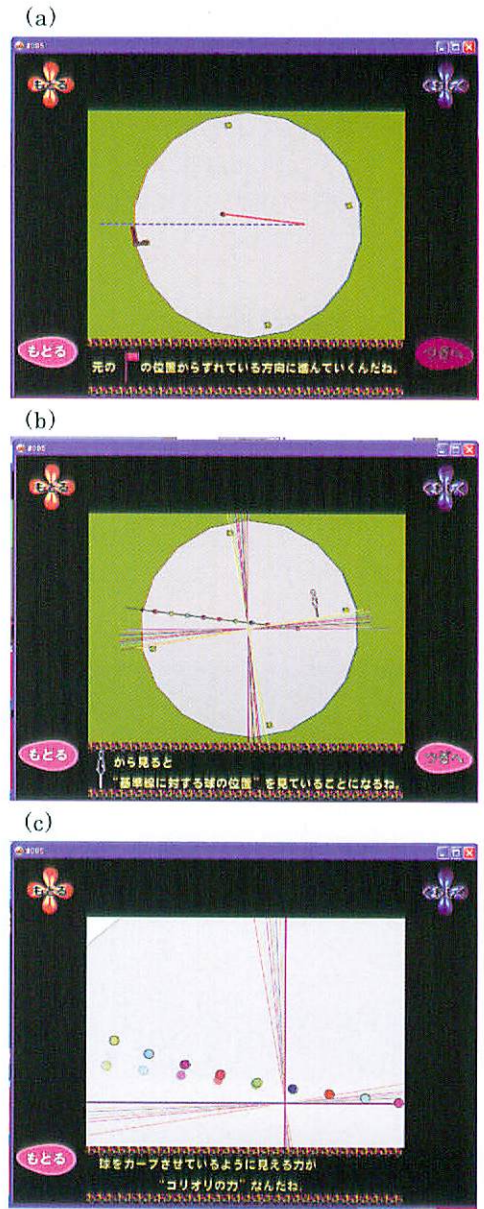


図7. コリオリの力の説明アニメーション

ラからの観測であり、球は等速度直線運動を行い、その間円盤は回転するため円盤上に描いた基準線も回っていることを示す。基準線からの球の位置のずれを示すため、各基準線を反対方向に回転させ、最初の基準線に一致させる。これを行っているのがシーン(c)であり、これより球の動きがカーブしていることがわかる。

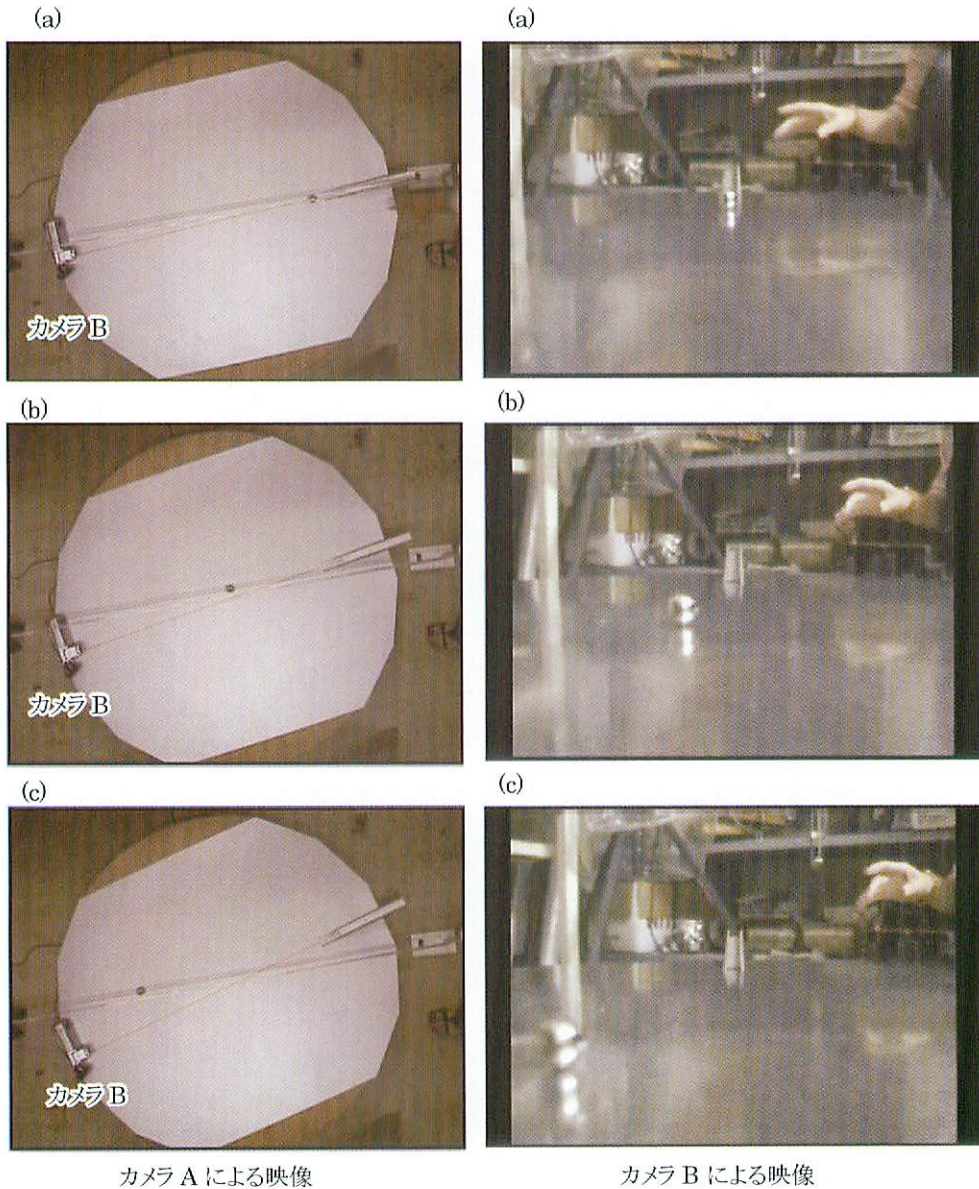


図 8. コリオリの力の実験映像

4-3 実験映像

遠心力及びコリオリの力に関する実験をビデオ撮影し、その映像をソフトウェアに取り込み編集した。直径1.1mの円盤をパルスモーターで回転駆動し、円盤真上の天井に固定したカメラAと、円盤上に乗せたカメラBの2台で同時に撮影した。コリオリの力の実験映像を図8に示す。球は円盤に置かれたスロープから反対側にあるカメラBに向かって転がされる。カメラAによる映像では、

最初 (a) の画面において球はスロープとカメラBを結ぶ基準線上にあるが、時間の経過とともに (b), (c) へと基準線から外れていく。しかし、空間に張られた糸に沿って直線運動していることがわかる。一方、カメラBの映像では、最初 (a) の画面において球はカメラBに向かっているが、時間の経過とともに (b), (c) へとカーブしながら外れていく。この実験映像と図4を比較してみると、3DCG作成ソフトウェアによるアニメー

ションは現実の球の動きを良く再現していることがわかる。

4-4 数式導出のアニメーション

説明アニメーションの内容には、遠心力及びコリオリの力の理論的考察のためのアニメーションが含まれている。

遠心力やコリオリの力は、回転する座標系から物体の運動を見たときに現れる力である。一般的な物理学の教科書^{1)~3)}では、慣性座標系と回転座標系の座標変換を行い、回転座標系における運動方程式に現れる“余分な項”として慣性力が導かれる。座標変換自体はそれほど難しい数学的手法ではないが、初めて学ぶ者にはなかなか物理的なイメージが伴わない。そこで、以下に示すように、できるだけ平易に説明するため、座標変換ではなく、幾何学的考察による方法を用いた。

[遠心力]

図9において、角速度 ω で回転する円盤上の点Aに立っている人（観察者）が、手に持った球を自分の足元に置いたとする。球は慣性の法則により、点Aが点Oを中心として描く円の接線方向 \overline{AP} に、点A（観察者）がもつ速度 $r\omega$ で等速度直線運動を行う。ただし、 r は点Aの中心Oからの距離とする。時刻 t の後には、点Aは点A'に、球は点Aから $r\omega t$ の距離の点Pにある。円盤上の観察者からすれば、球には円盤の外に向かう力が働き、球は点A'から点Pに動いたように見える。これが遠心力である。時刻 t が微小量だと仮定すれば、O、A'、Pは直線上にあり、

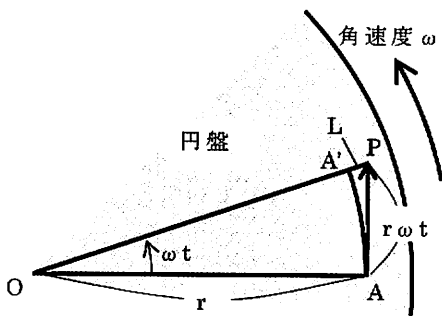


図9. 遠心力の説明

$$\overline{AP} = \overline{AA'}$$

$$\angle A'AP = \frac{1}{2}\omega t$$

であるから、球が移動した距離 $\overline{A'P}$ を L とおくと、

$$L = \frac{1}{2}r\omega^2 t^2$$

となる。すなわち、 L は時刻 t の2次関数である。したがって、球の速度は

$$\frac{dL}{dt} = r\omega^2 t$$

加速度は

$$\frac{d^2L}{dt^2} = r\omega^2$$

で与えられる。

それゆえ、球の質量を m とすれば、遠心力は $m r \omega^2$ となる。

[コリオリの力]

次に、円盤上の観察者が点Aで、球を円盤の中心Oに向かって速度 v で投げた（あるいは転がせた）場合を考える。球は、中心方向の速度 v と、円盤の回転による点Aの描く円の接線方向に速度 $r\omega$ の合成速度をもって、等速直線運動を行う。図10で、時刻 t の後には球は点Qにあり、観察者はA'にいることになる。点Qは直線OA'から距離QHだけ離れている。観察者からは、球を中心Oに向かって投げたにも関わらず、球の進行方向に直角に力が働き、直線OA'から外れたように見える。これがコリオリの力である。 $\triangle OPA$ と $\triangle PQH$ が相似であるので、

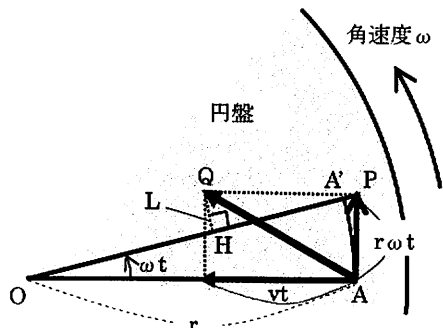


図10. コリオリの力の説明

$$PQ = vt$$

$$\angle QPH = \omega t$$

である。直線 OA' からの球のずれ QH を L と置き、時刻 t が微小量だと仮定すれば、

$$L = vt \times \omega t = v\omega t^2$$

となる。したがって、球の OA' からのずれの速度は

$$\frac{dL}{dt} = 2v\omega t$$

加速度は

$$\frac{d^2L}{dt^2} = 2v\omega$$

となる。

それゆえ、球の質量を m とすれば、コリオリの力は $2m v \omega$ となる。

このような、数学的な考察にもとづいて数式導出のアニメーションを作成した。図11にはコリオリの力の説明アニメーションの中の4シーンを示す。(a) は、円盤上で球を円盤中心に向かって

投げたときに、円盤が回転しているため回転の接線方向に $r\omega$ の速度成分を持つことを示す。(b) では、観察者の視線は常に円盤中心に向かっているので、球は中心からずれて進むように見えている。(c) では、そのずれの大きさを求めるための図形を描画している。(d) で、図形から数式を導出している。

5 アンケート調査

5-1 本ソフトウェア学習効果

本ソフトウェアの学習効果や感想を得るため、中高大学生に視聴してもらいアンケート調査を行った。中学生に対しては、沖縄県八重瀬町立東風平中学校2年生5クラス162名の協力を得て、理科の授業時間50分を利用し実施した。高校・大学生からは無作為に33名を選出し、本ソフトウェアのCDを配布した上でアンケート協力を依頼した。

本ソフトウェアの学習効果を見るために、アンケートでは慣性力が水平方向に働いている場合の

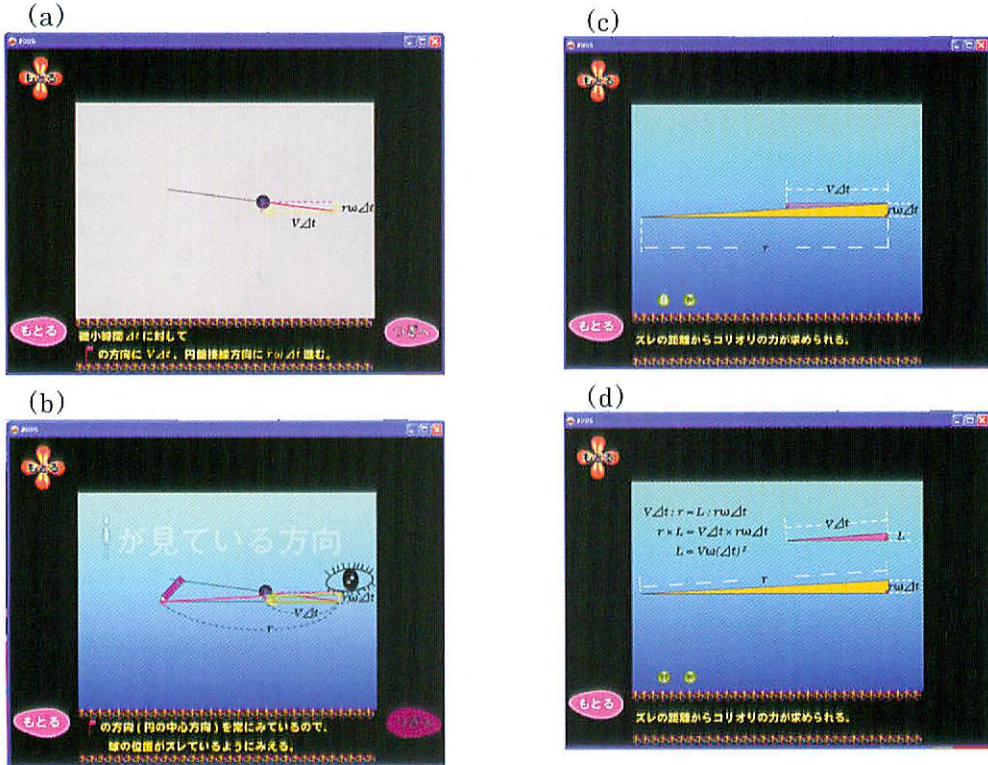


図11. コリオリの力の数式アニメーション

設問、鉛直方向に働いている場合の設問、水平移動中での鉛直方向に働いている場合の設問、及び文章による総合的な設問を行った。このアンケート調査をソフトウェア視聴前後に行い、アンケートの回答を次の4つに分類した。

- 分類A：視聴前正解かつ視聴後正解
- 分類B：視聴前不正解かつ視聴後正解
- 分類C：視聴前不正解かつ視聴後不正解
- 分類D：視聴前不正解かつ視聴後不正解

分類Aに属する人は、視聴以前から慣性力に対する正しい知識を持っていたと考え、B、C、Dに分類される人数に対するBに分類される人数の割合

$$k = \frac{B}{B+C+D}$$

を定義した。これは、ソフトウェアの視聴によって学習効果があった割合と考えられる。

各設問のkを平均すると、中学生に対しては0.34、高・大学生に対しては0.57という値が得られた。しかしながら、アンケート実施後、設問内容を再検討した結果、視聴前後の設問がすべて同一ではなかったこと、設問内容に若干誤りがあった等の問題点があり、アンケートの定量的な分析は困難であることが分かった。したがって、ここではアンケート結果に対してこれ以上の詳細な検討を行わず、視聴後の感想を中心に報告する。

5-2 本ソフトウェアへの感想

本ソフトウェアを視聴したのち、理解したかどうかの自己評価を行ってもらった。図12にその結果を示す。慣性や慣性力の理解について「とても理解に役立った」と「少し理解に役立った」という答えの合計は、中学生は全体の57%、高校・大学生では70%であった。本ソフトウェアに関する感想を図13に示す。「他の分野のソフトを見てみたい」と「他の教科のソフトウェアも見てみたい」という感想の合計が、中学生40%、高校・大学生55%であった。「おもしろかった」という回答が中学生19%、高校・大学生22%であり、また「物理現象に興味を持った」の回答に中学生7%、高校・大学生17%という結果が得られた。次に、中学生と高・大学生に分けて感想内容を紹介する。

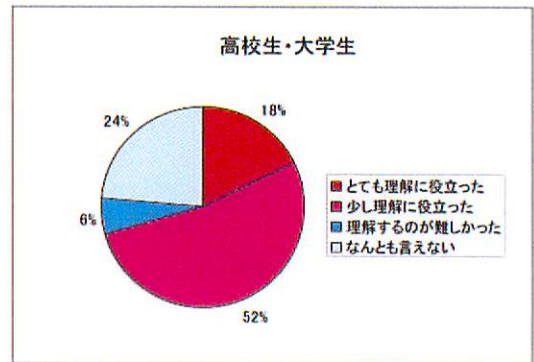
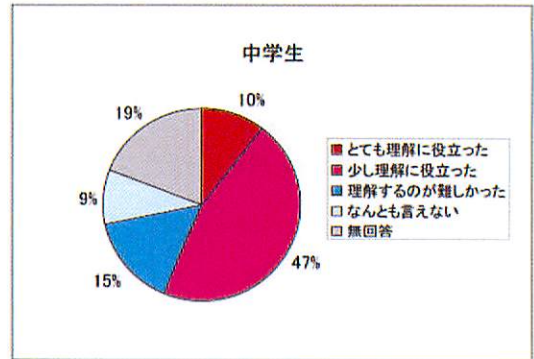


図12. 理解の程度に対する自己評価

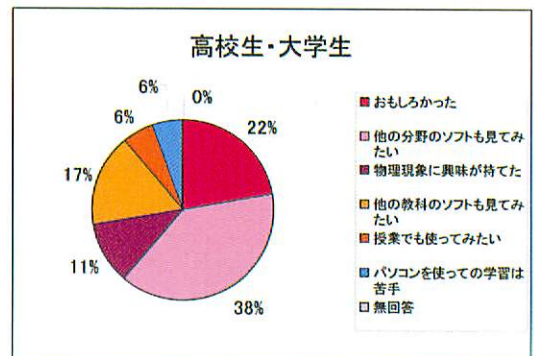
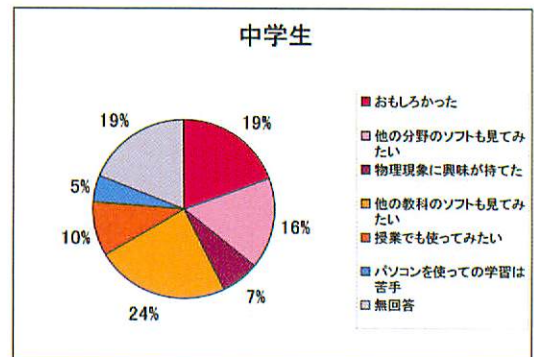


図13. ソフトウェアに関する感想

[中学生の感想]

本ソフトウェアに対して、肯定的な意見、やや肯定的な意見と、否定的あるいは改善を求める意見に分類し、以下に紹介する。

肯定的な感想

- ・よくわかった
- ・いろいろ分かった
- ・分かりやすかった
- ・アニメや写真があってわかりやすかった
- ・慣性力についてわかった
- ・曲がったときとかにボールがどこに行くのかわかった遠心力でボールがどこに行くかわかった
- ・勉強になった
- ・授業でやってほしい
- ・またこういうアニメーションの勉強をやりたい。とても楽しかった。こういうのが分かりやすい
- ・楽しく勉強できたと思う
- ・とても勉強になった。慣性の法則が勉強になった
- ・楽しかった (4人)
- ・おもしろかった (2人)
- ・アニメが面白かった
- ・とてもよくできていた
- ・すごいと思った
- ・実際の映像をだしているのがいいと思った
- ・初めてこんなのに興味もててよかった

やや肯定的な感想

- ・こういうアニメがあるんだ~と思った
- ・あんまり意味がわからなかった (言葉が難しい) だけど画像は楽しかった
- ・あまり意味がわからなかったし難しかったけど、楽しかった。
- ・あまり意味がわからなかった。でも少しわかった。
- ・よく意味がわからないところもあったけど、少しわかったこともあった。
- ・ちょっと難しかったけど役にたつからよかった
- ・何のことを言っているのか意味がわからなかった。

た。中3とか高校の時には役立つと思うけど、今はあんまり必要ではないんじゃないかと思った。

- ・アニメーションや文字の表示が遅くて見ててたいくつだったけど、内容はなかなか興味深かったと思う
- ・少し難しい部分もあったけど、アニメーションなどでよく分かった。
- ・BGMの種類を増やす。文字の速度が遅い。上等。分かりやすい。
- ・BGMの種類を増やしたほうがいいと思う。文字がでるのがおそい。バス停が上等。でもこのソフトはちょっと意味が分からなかった。めっちゃ上等にできている。

否定的あるいは改善に役立つ感想

- ・ちゃんと理解することができませんでした
- ・動きが遅い (3人)
- ・文字が出てくるのが遅くて、あまり理解するのが難しかったできなかった
- ・説明が多いし、遅かった
- ・説明の部分がちょっと長かった
- ・説明が難しかった
- ・難しいのがたくさんあった
- ・分かりにくかった。説明が難しい。
- ・意味がわからなかった。説明が難しすぎた。
- ・難しい言葉がいろいろでてきて理解するのが難しかったできなかった
- ・少し難しい
- ・難しかった
- ・とても難しい
- ・ちょっと意味がわからなかった
- ・わかりにくい
- ・よくわからなかった
- ・難しくよくわからなかった
- ・ちょっと難しい言葉が多かった
- ・難しい文字式とかがわかりにくかった
- ・音楽とか声をふやす
- ・キャラクタがあまりかわいくなかった
- ・もっとおもしろくしてほしい
- ・あらすじがわからなかった
- ・全体的に何をやっているのかわからなかったし、どう理解していいのか分からなかった。

- ・もっとわかりやすく作って欲しい
- ・説明がおおくてあまり見る気がしませんでした

全体的な感想として、本ソフトウェアが今までの学習方法と異なるという点で刺激を受けたと感じる生徒が多いようである。これまで聞いたことの無い言葉がたくさん出てくるという点では、理解に苦しむ箇所もあったようだが、アニメーションへの親近感や、知的好奇心を刺激する実験映像への興味は大きいようである。

ソフトウェア制作時には、中学生の読解力を考慮し説明スピードを遅めに設定したが、生徒の感想からは説明が遅すぎるという意見が多くある。テンポよく次のシーンへ進み、反復して視聴することを考慮すると、説明のスピードやアニメーションのスピードは学習者の学習意欲に影響があると考えられる。学習者一人一人の読解力や知識量に応じてスピード調整ができると、短時間での学習が更に容易になると言える。

本ソフトウェアでは、説明文とアニメーションの両方の面から慣性力の理解を支援しているが、さらに音声による説明を加えると、物理現象に対する理解をより促すことができる。テレビやテレビゲームに日常接している視聴者にとって、映像や音声への高い興味、関心を持っていることがわかり、視覚的な面と聴覚的な面からアプローチすることは、学習ソフトウェアの効果を上げる一つの手立てであるように感じる。他の分野・教科の学習ソフトウェアを見てみたいという意見が多ことから、ソフトウェアを用いての学習を抵抗なく受け入れており、本ソフトウェアの視聴によりソフトウェア学習への興味・関心を引いたものと考えられる。

[高校・大学生の感想]

- ・やっぱり、絵があつたりするとわかりやすい
- ・本を読むだけではもしかしたら間違った解釈をしてしまうかもしれませんが、映像をみることでリアルにわかるのがよいと思いました
- ・実際に実験している映像がとてもわかりやすかった。進む順序が難しかった

- ・操作が少し難しかったです
- ・楽しくみることができました。説明文が難しく感じたのもっとわかりやすく簡単にしてほしいと思いました
- ・ソフトを見てコリオリの力について解かったつもりになっていたのですが、この問題を解いてみると本質的な理解はまだ出来ていない気がしました
- ・クマ吉君とウサミちゃんに（おもしろく）会話を入れるとおもしろくなると思う
- ・おもしろかったが、コリオリの力がどういふ力なのかわからなかった
- ・物理嫌いだから何とも・・・
- ・ちゃんと理解する事ができませんでした
- ・ありがとうございました

高校生・大学生もアニメーションや実験映像へ好感を抱いているようである。更に、キャラクターへの要望を踏まえ、登場人物に台詞を入れキャラクターの状況説明などを含めると興味・関心に繋がるようである。説明シーンの説明文は視聴者自信が読むという形式であるが、説明を音声で入れ、目で読み耳で聞くことができると効果が高まると考えられる。

6 考 察

本研究では、慣性力の理解を助けるためのソフトウェアを開発した。学習者の学習レベルに応じて活用できるということを大きな目標として、本ソフトウェアは、導入アニメーション、説明アニメーション及び実験映像から構成されている。導入アニメーションでは、慣性力を学習者の日常体験と結びつけることにより興味を抱かせること、また、説明アニメーションでは、加速系（非慣性系）から見た物体の運動を感覚的に理解させることから、興味に応じてではあるが数式として理解させることまでを意図した。さらに、これら3つの構成部分はお互いに関連しあってより深い慣性力の理解につながるよう工夫した。これらの意図が学習者にどのように受け取られるかを見るために、中学生、高校、及び大学生に本ソフトウェアを視聴してもらい、アンケート調査を行った。そ

の結果より、本ソフトウェアの学習ソフトとしての特徴は以下のように考えられる。

- ・いくつかの3Dソフトで作成したアニメーションは視覚的には楽しめるものになっていること。さらに、効果音を加えることによりその効果が倍増されていること。
- ・実験映像をソフトウェアの内容に加えたことが、観察視点の違いにより生じる見かけの力の理解に大きな手助けとなっていること。
- ・特に、中学生にとって実験映像への印象が強く残り、見かけの力への興味に繋げることができたこと。
- ・今迄疑問を抱かなかった日常体験している物理現象に興味を抱かせることができたこと。

また、本ソフトウェアの改善点としては以下のことが挙げられる。

- ・基本的な物理用語の説明を追加すること。
- ・導入アニメーションには学習目的を理解させるために、視聴者の体験と結びつくような説明をさらに追加すること。

- ・さらなる実験映像を追加すること。
- ・登場人物に台詞を加えアニメ化すること。
- ・音声による説明を加え、聴覚的な理解の支援の実現すること。
- ・視聴後の理解度を確認できるクイズの設定をおこなうこと。

謝辞

アンケートの実施協力を快くお引き受けくださいました八重瀬町立東風平中学校の村島雄太教諭、およびアンケートしていただきました皆様に感謝いたします。

引用文献

- 1) 小出昭一郎 「物理学」三訂版 裳華房 1997
- 2) 阿部龍蔵 「力学」新訂版 サイエンス社 1992
- 3) 戸田盛和 「力学」 岩波書店 1982