

Squeak eToys を用いた物理学習教材の作成

藤森千博, 中平勝子, 福村好美

長岡技術科学大学 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1

E-mail {fujimori,katsuko,fukumura }@oberon.nagaokaut.ac.jp

概要

物理学の学習においては, 物理現象を表現する数式と, 実際に生起する具体的な物理現象との関係を体験させることが効果的である. このため, GUI 画面上で比較的容易にシミュレーションを実行させることを目的として, Squeak eToys による物理学学習のための教材コンテンツを試作した. 対象とする学習項目は, 光の屈折と重力レンズである. シミュレーションプログラムは, 数式のパラメータを自由に变化させて光学現象のシミュレーションを実行できる.

An e-Learning Material for Physical Phenominon by using Squeak eToys

Chihiro Fujimori, Katsuko T.Nakahira, Yoshimi Fukumura

Nagaoka University of Technology 1603-1 Kamitomioka-machi, Nagaoka-city Niigata 940-2188 Japan

Abstract

In the study of physics, it is effective to make the relationship between an mathematical expression that expresses a physical phenomenon and a concrete physical phenomenon that actually occurs experienced. The teaching material contents for the physics study are made as an experiment by Squeak eToys for the purpose of executing relatively easy on the GUI screen. The targeted study item is refraction and a gravitational lens of light. The simulation program can execute the simulation of an optical phenomenon by freely changing the parameter of the mathematical.

1. はじめに

近年, 若年層の理系離れが言われる. 2005 年度高校理科教科書需要冊数⁽¹⁾によると, 物理 が 39 万冊, 物理 が 19 万冊. 化学 が 76 万冊, 化学 が 28 万冊, 生物 が 82 万冊, 生物 が 23 万冊となっており, 約 1.6 倍化学, 生物に比べて物理教科書の需要が少ないことから, 物理履修者の割合が少ない事が分かる. その対策に以下の検討がなされている.⁽²⁾

(1) 小学校, 中学校における理科の授業時間数の増加

子供たちの学力向上のためには, 小, 中, 高等学校を通じ, 教育内容, 順序, 授業のあり方を改善する必要がある. 理科は自然現象が対象なので, 学習内容に密接に関連した体験や実験のための時間が必要であり現在の初等中等教育に当てられている時間では少ないため, 授業時間数の増加が必要である.

(2) 高校 1 年時に必修理科を置く.

わが国の伝統である平均的国民の教育水準の高さを維持する上で重要である. しかし高校教育期間は 3 年間しかなく, 適切でない内容の高校必修

理科が置かれると、かえって「確かな学力」の育成を妨げるものになりかねない。そうなるとわが国の科学教育を更なる困難に陥れる可能性がある。

(3) 学習指導要領の基準に多くの生徒が到達できるような工夫

学習指導要領の内容を多くの生徒に理解させるために、内容自体を適切なものに直す必要がある。更に、到達目標を明確にしてそれを生徒に理解させるため学習指導要領の記述の仕方、教科書の書き方、授業の方法の工夫の検討が必要である。

この対策のひとつに実世界で生起する物理現象と、物理学で学習する解析手法との関係を知りやすくビジュアルに表現して学習者に実体験させることが考えられる。しかし、物理現象をビジュアルに表現するためのプログラムを作成することはプログラミングの非専門家である教諭にとって負担が大きい。そこで自然現象の理解を助ける教材を Squeak eToys を利用し、物理学教材コンテンツの開発を試みた。本稿では物理現象の例として「光の屈折（反射）」を古典論、相対論の両方を対象にパラメータ変更に伴う物理現象の変化についてそれぞれについてシミュレーションすることで学習効果の理解の一助を図った。以下、Squeak eToys による物理学学習教材の試作結果を示す。

2 前提条件

使用するソフトウェアは日本語版squeakバージョン3.7.1である。その特徴は⁽³⁾

フリーソフトである。

(日本語版は <http://squeakland.jp/>より最新のもの入手できる。)

タイルスクリプティングができる。

これは自分で作った画像に命令を送ることのできるスクリプトタイルの中にタイルを並べていくことで、プログラムが行えるシステムである。

汎用的なツールとして使える

プレゼン用ツール、アニメーション作成ツール、シミュレーションツールなどに使える。

兄弟の作成ができる。

兄弟はスクリプトと変数を共有する。兄弟とコピー機能はよく似ているが、コピーは形のみが新たに作られるのに対し、兄弟は形だけでなく元のオブジェクトの性質を受け継ぐ。例えば兄弟のスクリプトを変更すると、元のオブジェクトにもその変更が反映される。

タイル作成が可能

Squeak eToys に標準装備されていないタイルについては独自にスクリプトを書き、新規タイルとして登録することが可能である。

3 古典論による光の屈折シミュレータ

光子が初期媒質から異なる媒質へと進む様子を屈折の公式⁽⁴⁾

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (1)$$

を利用して光子の動きを計算し、光子の軌跡、屈折角を求める問題を表示させることにより、目で見ても、理解を深められるように設計した。

3.1 画面構成

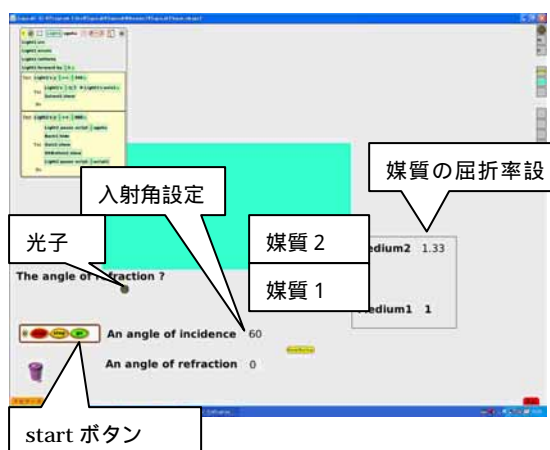


図 1: 初期画面

図 1 に初期画面構成を示す。画面の構成要素に

光子，媒質 1，2 があり，初期条件として，1) 入射角，2) 媒質 1 および媒質 2 の屈折率を画面内で設定できる。

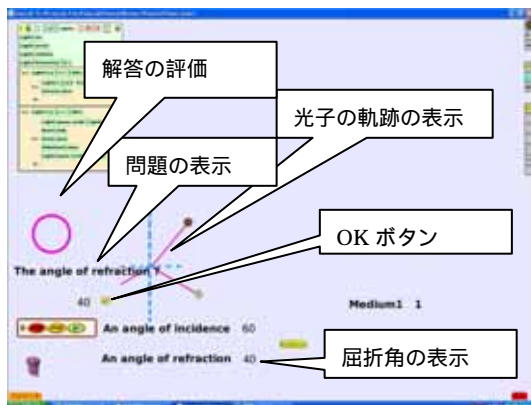


図 2: シミュレーション結果画面

図 2 にシミュレーション結果の画面構成を示す。start ボタンを押した後，光子は(1)式に従って軌跡を描く。軌跡は，Squeak eToy の性質で媒質 2 オブジェクトの下に描かれている。その結果，媒質 2 中の光子の軌跡が見えないため最後に媒質 2 を取り外し，隠れていた軌跡を表示させるという方法を取った。

3.2 プログラム構成

(1) 光 (光子) の軌跡の表示

光子が媒質 1 から媒質 2 に進入する際，軌跡は屈折の公式の(1)式により準じて変化する。屈折の公式は，(1)式より， θ_2 は

$$\theta_2 = \text{arcSin}\left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1\right) \quad (2)$$

で求められ四捨五入の上，整数値として代入する。シミュレーション上は n_1 を媒質 1 に， n_2 を媒質 2， θ_1 が入射角， θ_2 が屈折角である。光子の軌跡の描写方法は Squeak eToys の機能である「～を進める」タイトルと「ペン先が降りているか」タイトルを使用した。「～を進める」に必要な情報は角度 θ_1 ， θ_2 である。

また sin，arcSin のタイトルが無い場合，図 3(a)のように自分でタイトルを作成した。

図 3 は光子の動きを表示するプログラム内容であり，(a)はスクリプトで作成した独自タイトルの内容，(b)は Squeak eToys に装備されているタイトルである。



(a) 独自作成



(b) タイトル使用

図 3: 光子の動きのプログラム

(2) テスト機能の表示 (The angle of refraction)

理解度向上のために屈折角を求めさせるテスト

機能を追加した。

画面中央左に屈折角を求める問題が表示され、正解ならば印が、不正解ならば×印が表示され、正解の角度が画面下の屈折角 (An angle of refraction) に表示される。

(3) 反射光の表示

図4は反射光描写プログラムである。



図4: 反射光描写プログラム

媒質1から媒質2へ光子が進入すると同時に反射もさせる。反射光の反射位置と方向はスクリプトで記述し、光子の軌跡はSqueak eToysで実現した。

初期化处理

図5は初期化プログラムである。



図5: 光の屈折初期化プログラム

光子の初期位置(固定)、入射角、媒質の屈折率等の初期化を行った。Squeak eToysでプログラミングを行う上では初期化作業は特に注意しなければならない。それは1) タイルの並び順が実行順序に影響し不具合が発生する、2) 前回シミュレーション時のパラメータ値が初期化されない、などが複合的に演算エラーを引き起こすからである。

4 相対論による重力レンズシミュレータ

4.1 重力レンズ効果とは

質量を持つ物体の周辺では、その重力のために空間が歪められると考えられている。その空間を光が通るとき、歪みに沿って最短距離を進むので外から見ると光が曲がっているように観測される。この現象を重力レンズ効果と呼ぶ。結果として以下のような現象が起きる。

- ・天体が多重像を作る(強い重力レンズ)
- ・天体の形状が変化を受ける(弱い重力レンズ)
- ・天体の見かけの明るさが増光する(マイクロレンズ)

光が曲がる状態が光学レンズによる光の屈折と似ているために重力レンズと言われている。

本稿の試作では、シミュレーション簡素化のため、レンズ天体を銀河の広がりを考えない質点として考えた。すなわち、上記の弱い重力レンズ現象を対象にSqueak eToysを用いてシミュレータを開発した。

4.2 写像天体の表示

広がりを持つ観測天体イメージをSqueak eToys上で表現するために図6の様にモデル化した。

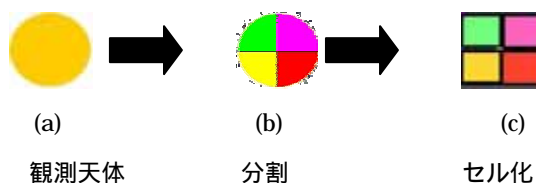


図6: 天体表示イメージ

本来見えるはずの天体像(図 6(a))を 4 分割し,それぞれの分割部を判別するために色分けしたものが(b)である.更に(b)をセルに分割したイメージが(c)である.これらのセルがどのように動くかを見る.

4.3 重力レンズ現象のモデル化

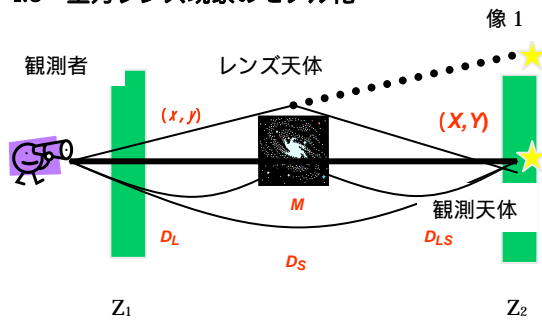


図 7: 重力レンズ現象の概念

図7は重力レンズ現象の概念図を示す.重力レンズ天体のイメージはレイ・トレーシング法を利用して求めた.すなわち,我々の視野および,観測天体にそれぞれスクリーン Z_1, Z_2 を置き,スクリーン上には広がりを持った天体が投影されている.それをいくつかのセルに分割した時の各セルのスクリーン上の座標を計算した.

(X, Y) は観測天体の天球における座標である.
 (x, y) は観測天体の天球における写像座標である.
 D_L は観測者からレンズ天体までの距離である.
 D_S は観測者から観測天体までの距離である.
 D_{LS} はレンズ天体から観測天体までの距離である.
 M はレンズ天体の質量である.

図8が図7における Z_1 の2次元座標系である.

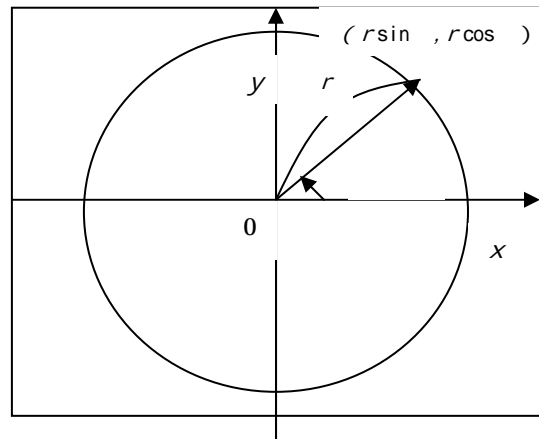


図 8: スクリーン Z_1 上の座標

極座標を用いて, $(x, y) = (r \sin \theta, r \cos \theta)$ で表す.

スクリーン Z_2 も同様の極座標表示を行う.

図 7 をもとに観測天体の写像座標の幾何学計算を行うと,以下の2次方程式の解が得られる.

$$(x, y) = \frac{R/D_S \pm \sqrt{(R/D_S)^2 + 4r_c^2}}{2} \cdot (\cos \theta, \sin \theta)$$

$$= \frac{1}{2D_S} (1 \pm \sqrt{1 + \frac{4r_c^2 D_S^2}{X^2 + Y^2}}) \cdot (X, Y) \quad (3)$$

$$r_c = \sqrt{\frac{4GM}{c^2 D_L D_S}} \quad (4)$$

相対論の計算では G, c^2 を1と置くことが多いため(3)式は

$$(x, y) = \frac{1}{2D_S} (1 \pm \sqrt{1 + \frac{1}{X^2 + Y^2} \frac{D_S}{D_L} M}) \cdot (X, Y) \quad (5)$$

となる.(5)式から写像天体の位置は D_L, D_S, M をパラメータとして決定でき, (x, y) の解が2つ存在することから観測天体像は2つに分かれることが分かる.それを図 6(c)を重ねて表記することにより表す.

4.3 画面構成



図 9: 初期画面

図 9 に重力レンズシミュレータの初期画面構成を示す。初期画面には地球、レンズ天体、観測天体のイメージを画面上に、観測天体のセルイメージを画面中央に配置し、1) 観測者から観測天体までの距離 D_S , 2) 観測者からレンズ天体までの距離 D_L , 3) レンズ天体の質量 M を設定できる。

ここでは観測者からレンズ天体までの距離、また観測天体までの距離、そしてレンズ天体の質量を入力する。真の値を入力すると、とても大きな値となり、入力ミスや複雑さが増す恐れがあるため、ユーザーが任意の方式で再規格化を行い、無次元の値を入力する。



図 10: シミュレーション結果画面

図 10 にシミュレーション結果の画面構成を示す。

4.4 重力レンズイメージ計算

(1) 写像天体座標算出

(5)式より、 x 座標、 y 座標を求め、重力レンズ効果により光源イメージの写像を算出する。

(2) セルの動作

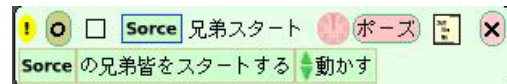


図 11: セルを一斉に動かす

図 11 はセルを一斉に動かすプログラムである。写像を作成するに際しては Squeak eToys の特徴である「兄弟の作成」を利用した。

本来ならば各々のセルに対して写像座標を計算する必要があるのだが、「兄弟の作成」により、それぞれのセルが入力された D_L , D_S , M の変数に応じて一斉に動かせる。よって座標計算プログラム作成の手間が省けるメリットがある。セルの動作には「兄弟皆をスタートする」というタイルを使用した。

(3) シミュレーション結果

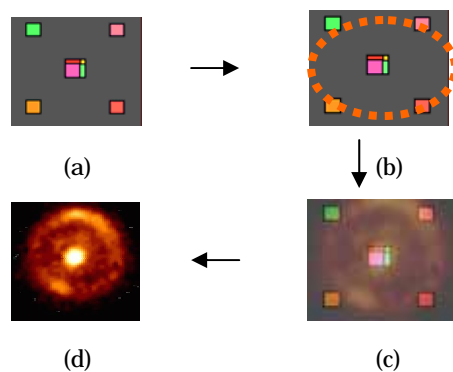


図 12: 写像天体 (天体画像は「重力レンズ」

http://windom.phys.hirosaki-u.ac.jp/monthly/nos_hock/gltop.html#top から引用

シミュレーション結果を現実の世界に当てはめるため、シミュレーション結果の解析を行わせる。その例が図 12 である。

これは重力レンズ効果によって見かけの観測天体の形状が変化する様子を実際に観測される天体画像イメージに置換する過程を示したものである。

全部で8個のセルに対しセル4個が外に広がり、残り4個が中心に集合した形となっている。この状態は光が外に円形に広がり、光が中心に集まったことにより明るくなると解釈できる。(図12(b))

(b)の解釈をもとに、天体画像データベースよりシミュレーション結果に最も近い天体画像を重ね合わせたものが(c)である。実際には図13(d)のように観測されると解釈できる。

5 考察

古典的な光の屈折現象においては比較的容易に画面上でパラメータを変更することにより、種々の条件下での光屈折シミュレーションを実行できた。その結果、視覚的、操作性共に問題無く作成できた。

一方、重力レンズシミュレータにおいては、写像のための計算が中心となったため、タイルの利用に比べてスクリプトによるプログラミングの割合が増加した。しかし、「兄弟作成」の機能により、プログラミングでの表現、記述が簡素化でき、Squeak eToysを用いたビジュアルな重力レンズ現象シミュレータを作成できた。

6 まとめと今後の課題

本稿では、ビジュアルプログラミング言語 Squeak eToys を用いて物理学学習教材の試作結果を示した。対象とする物理現象は古典的な光の屈折と重力レンズであり、Squeak eToys の特徴であるビジュアルなシミュレーションを実現した。

今後の課題は

- ・実際に学習効果が出るような機能追加
- ・パラメータの動きとオブジェクトが連携して動く仕組みの思考、設計

・Eラーニング教材への応用が挙げられる。

参考文献

- (1)鈴木亨「教科書採択から見た高校物理の履修率」『大学の物理教育』, 日本物理学会, 11-3, 133 (2005)
- (2)「中央教育審議会への要望書について」日本物理学会誌, 60-9, 767 (2005)
- (3)BJ・アレン-コン/キム・ローズ「子供の思考力を高めるスクイーク 理数力をみるみるあげる魔法の授業」, WAVE 出版 (2005)
- (4)多田政忠 他「新稿 物理学概説 上巻」, 学術図書出版社 (1974)