

タブレットでやってみよう！
理科のシミュレーション実験
～PhET(フェット)による1人1台端末の使いこなしガイド～

タブレットでやってみよう！ 理科のシミュレーション実験

～PhET(フェット)による1人1台端末の使いこなしガイド～

三重大学教育学部

准教授 國仲 寛人

三重大学教育学部

特任教授 後藤 太一郎

三重大学大学院教育学研究科卒

大多和 拓真

目 次

1. はじめに	1
2. 「PhET」とは何か?	1
3. PhETを用いた授業づくり	2
(1) 中学校での「光の性質」の授業	
(2) 中学校での「電流とその利用」の授業実践例	
4. PhETを使ってみよう	5
5. 理科の単元とシミュレーションの対応一覧表	9
6. PhETを用いた授業案	10
光の性質	
振り子の運動	
7. おわりに	20

〔参考〕

・ PhETの公式HP
<https://phet.colorado.edu/ja/>



・ PhETを使用した授業案
<https://phetmyself.themedia.jp/>



1. はじめに

現在、GIGAスクール構想の実現に向けて、教育現場のICT環境は急ピッチで整備が進んでいます。生徒1人に1台の端末が配布され、高速の通信ネットワーク環境が整備されることで、生徒1人1人の能力に最適化した教育の実現が期待されています。そのようなICT環境の急激な変化の一方で、教育現場では新しく導入された端末を効果的に授業に取り入れていくことが求められています。

これまでの理科の授業では、実験動画や画像などのデジタルコンテンツが活用されてきました。しかし生徒1人に1台の端末が用意された現在、従来の受動的なデジタルコンテンツだけでなく、能動的に関わることのできるデジタル教材が、抽象的な科学概念に対する生徒の理解をこれまで以上に深める可能性があります。そのような、生徒が能動的に関わることのできるデジタル教材として、科学シミュレーション教材があります。科学シミュレーション教材はタブレット用のアプリも開発されており、主に天

文、物理、化学分野のアプリが小・中学校で活用されています。

科学シミュレーション教材の1つとして、米国コロラド大学ボルダー校で開発された「PhET（フェット）」があります。PhETは2002年の開発開始以来、世界中の理数教育の現場で活用されてきました。その一方で、日本語版のシミュレーションの数の少なさが、日本の教育現場へのPhETの普及を阻んできました。しかし、教育効果の高い日本語版のシミュレーションの数が増え、さらにタブレット端末をはじめとする様々なICT機器で使えるようになってきたことから、日本の教育現場におけるPhETの利用価値が高まってきています。さらに全てのシミュレーションが無料で使えるということも、PhETの魅力の1つです。

この小冊子では、まずPhETの概要と理科の授業における活用例を紹介します。次にPhETの使い方を解説し、最後にPhETを用いた授業案を紹介します。

2. 「PhET」とは何か？

PhETは、PCやタブレット端末上で理科のシミュレーション実験を行うことができるデジタル教材です。全てのシミュレーションは無料で利用できるため、授業や家庭学習で気軽に利用することができます。また、スマートフォンでも利用できるため、遠隔授業で生徒にシミュレーション実験を行わせることも可能です。PhETには物理、化学、生物、地学、数学（算数）の5分野にわたる、159（令和4年3月現在で利用可能なもの）のシミュレーションが用意さ

れており、97か国語に翻訳されています。

理科の授業におけるPhETの活用には、次のような利点があります。

- 小学校から大学までの幅広い校種における理科や数学（算数）の授業で活用できる。
- 無料である。
- タブレット、PC、スマートフォン等のデバイス上で幅広く利用できる。
- オフラインでも動作するので、インターネット環境のない教室でも利用できる。

- エネルギー等の抽象的な科学概念について、教員が授業で説明するのが簡単になる。
- 生徒のグループワークで課題解決のために用いることができる。
- 多言語に対応している。

PhETは世界各国の理科教育の現場（小・中・高・大）で用いられており、2017年には、革新的な教育プロジェクトに与えられる国際賞である「WISE教育改革賞」を受賞しています。現在では、GoogleやNSF（National Science Foundation, 全米科学財団）等の支援を受け、米国コロラド大学ボルダー校のキャシー・パーキンス博士を中心としたプロジェクトチームにより、開発が続けられています。

三重大学教育学部ではPhETの高い教育効果に着目し、2014年から三重CST（コア・サイエンス・ティーチャー）養成プログラム（図1）で取り入れ

るとともに、2015年から教員免許状更新講習において「理科の授業におけるPhETの活用法」に関する講座を開催しています。これまでに（主に三重県内の）小学校から高校までの多くの先生方に、PhETの操作や授業での活用方法を体験していただきました。日本の小・中学校でPhETを利用しやすくするために、PhETの開発チームと協力し、シミュレーションの日本語翻訳にも取り組んでいます。



図1 三重CST養成プログラムの様子

3. PhETを用いた授業づくり

理科の授業において、自然現象についての実感を持った理解や、問題解決能力育成のために、実験は欠かせません。しかし、授業時間の制約のため、測定回数や設定できる実験条件の数が制限されることが往々にしてあります。それに対し、シミュレーション実験はタブレット上で行えるので、授業外でも納得するまで同じ実験を繰り返すことができます。また、重力や摩擦をゼロに設定するなど、実験室では実現できない環境下で測定を行うことも可能です。

ここでは、実験とPhETのシミュレーションをうまく組み合わせた授業実践の例を、2つ紹介します。

(1) 中学校での「光の性質」の授業

中学校「光の性質」の小単元を全7時間の授業で行う中で、「光の色」と「光の屈折」のシミュレーションを活用しました（表1）。

表1 授業の内容と使ったシミュレーション

授業の内容	使ったシミュレーション
1. ものの見える仕組み, 反射	光の色
2. 光の反射と屈折	光の屈折
3. 光の屈折	
4. 屈折と全反射	光の屈折
5. 虹の仕組み	
6. 空気と水, 空気とガラスの屈折の違い	光の屈折
7. 油とビーカーを用いた実験	

PhETを用いた授業では、生徒4人に1台のiPadを用意し、生徒によるグループ活動としました。iPadには利用するシミュレーションをあらかじめ保存しておき、ネットワーク環境のない教室でもシミュレーションを操作できるようにしました。

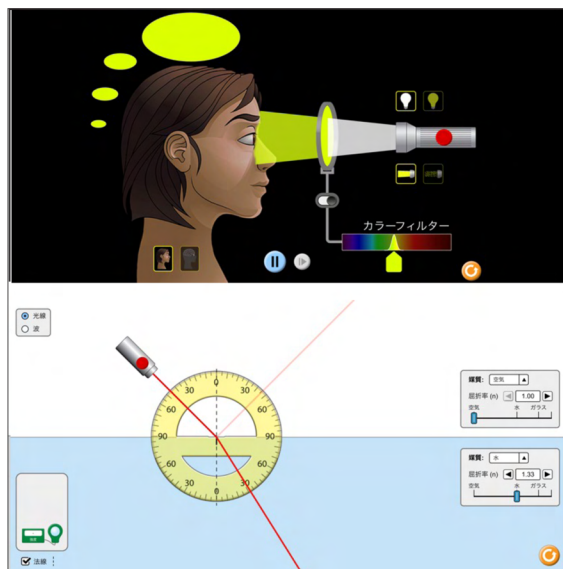


図2「光の色」(上)と「光の屈折」(下)のシミュレーション

第1時の「ものの見える仕組み、反射」の授業では、授業者が「なぜ目は色を識別することができるのだろうか?」という課題を提示し、生徒は「光の色」のシミュレーションを操作しながら課題に取り組むものとなりました。「光の色」のシミュレーションでは、カラーフィルタを透過した白色光が、人間の目に何色に見えるかを確認することができます (図2上)。生徒は、太陽光にはいろいろな色をもった光が含まれていて、目はカラーフィルタを透過した色を「光の色」だと認識すること、黄色いチョークが黄色く見えるのは、チョークの表面で黄色い光のみが反射し、その光が目に入るからだということを確認しました。

第2時の「光の反射と屈折」の授業では、異なった媒質同士が接触する境界面に光を入射すると、反射光と屈折光が観察されること、その

とき入射角と反射角が等しくなることを、生徒たちはシミュレーションで実験しながら学びました。「光の屈折」のシミュレーションでは、媒質の種類や入射光の角度を簡単に変更ことができ、分度器を用いて入射角や反射角を測定することも可能です(図2下)。設定を変えて何度もシミュレーション実験ができるので、生徒は光の反射や屈折に見られる法則性を自然と身につけることができました。

第7時の「油とビーカーを用いた実験」では、授業者が「サラダ油の中に沈めたガラス製のビーカーが見えなくなる」という演示実験を行い、この理由を考えようという課題が生徒に提示されました。生徒は前時の授業で、媒質には固有の屈折率が備わっており、それが光の屈折の度合いを決めていることを学習済みでした。

生徒は「光の屈折」のシミュレーションを用いて、設定をいろいろと変えながらグループ実験を繰り返し、議論し合いました(図3左)。その結果、屈折率が同じ媒質同士の境界では光の反射も屈折も起きないことから、ガラスとサラダ油の屈折率が近いため反射光が目には届かず、ビーカーが見えなくなったという結論を導きました。自分たちが導いた結論を生徒がシミュレーションを操作しながら説明することで、各班の考えをクラス全体で共有しました(図3右)。



図3 PhETを用いた「光の屈折」の授業の様子

「光の色」の学習内容は、令和3年度から全面実施されている学習指導要領に新しく追加されたもので、教育効果の高い教材が求められています。この授業では、生徒たちが「光の色」や「反射や屈折」のシミュレーションを自発的に操作し、積極的に課題に取り組んでいる様子

が見られました。またシミュレーションの操作は直感的で、授業者からの丁寧な説明がなくても、ほとんどの生徒が操作に困ることはありませんでした。

なお、この授業を行った中学校では、多くの外国につながる生徒が学んでいます。日本語が理解できず理科の授業についていけない生徒のために、理科の教員がPhETのシミュレーションを使って補習授業を行っています。PhETは英語やポルトガル語等の多言語に対応しているため、多くの外国につながる生徒の自発的な取り組みに結びつきます。

(2)中学校での「電流とその利用」の授業実践例

中学校「電流とその利用」の単位では、豆電球や抵抗を含む回路の電流や電圧の大きさについて学びます。小单元「電流と回路」の授業内容(全5時間,表2)の中で、「直流回路キット」のシミュレーションを活用しました。

表2 電流と回路の授業内容

	授業の内容	時間数
	電流モデルの提示 (直流回路)	1
簡単な回路	「直流回路キット」によるシミュレーション (安全な直流回路の組み方, 電流計のつなぎ方)	2
	直流電流の電流値の予想と測定実験	
	電流モデルの提示 (並列回路)	1
	「直流回路キット」によるシミュレーション (安全な並列回路の組み方, 電流計のつなぎ方)	
並列回路の電流値の予想と測定実験		
複雑な回路	複雑な回路の電流値予想と「直流回路キット」による確認	1

はじめに、授業者が独自に考案した電流の粒

子モデルを、生徒に提示しました。この粒子モデルは、キルヒホッフの第一法則にしたがう「電気の粒」が、電源の正極から回路を通して負極に戻ってくるというモデルで、回路の任意の地点の電流値を簡単に計算することができるように工夫されています。

PhETを用いた授業では、生徒4人に1台のPC(MacBook Air)を用意しました。PCには「直流回路キット」のファイルを前もって保存しておき、ネットワーク環境がない教室でもシミュレーションの操作ができるよう準備しておきました。生徒は簡単な直流・並列回路の電流値を電流モデルに基づいて予測し、同じ回路を「直流回路キット」で作成して予想を確かめ、最後に実験で確認するという流れで授業を行いました。

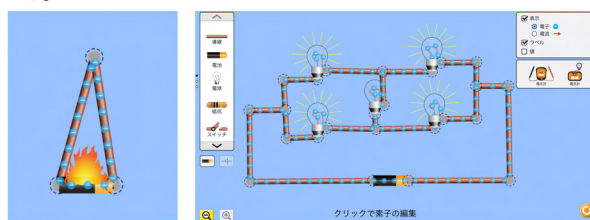


図4 ショート回路(左)と複雑な回路(右)

この授業でPhETのシミュレーションを用いた目的は次の2点です。

- ① 実験で回路を作成する前にその安全性を確認する。
- ② 複雑な回路の電流値を測定する実験をPC上で行う。

生徒は、実験を行う前に「直流回路キット」で同じ回路を作成し、回路の組み方や電流計のつなぎ方を確認しました。その際、実際に作ると危険なショート回路を作成し、その危険性も確認しました(図4左)。このようにシミュレーション実験には、回路の動作や安全性を実験の前に確認できるという利点があります。

最後の授業では、複雑な回路(ブリッジ回路)

の電流値を予想する応用問題に取り組みました。ここでは実験の代わりに「直流回路キット」でシミュレーション実験を行い、予想を確認しました(図4右)。授業で複雑な回路を作成すると、生徒が作った回路を教師が全て点検するのに時間がかかり、測定のための時間が削減されることがあります。また、生徒が誤ってショート回路を作ってしまう、事故を起こしてしまうこともあります。実験の代替として「直流回路キッ

ト」でシミュレーション実験を行うと、これらの問題に悩まされることなく、授業者は授業を進めることができます。

電気回路はわかりにくく苦手とする生徒が多い分野ですが、実験に加えて電流モデルやPhETのシミュレーションを用いることで、授業後には電気回路の学習に対して好意的なイメージをもつ生徒が増えたことがわかりました。

4. PhETを使ってみよう

PhETを授業で使う方法として、以下の3つの方法があります。

- ① インターネットに接続されたPCやタブレットを用いる
- ② iPadのアプリ(有料)を用いる
- ③ インターネットに接続されていないPCやiPadに、シミュレーションを保存して用いる

これらの方法について、順番に説明します。

① インターネットに接続されたPCやタブレットを用いる



図5 PhETのホームページ

まずはインターネットにつながったパソコンやタブレットで、PhETのホームページ(図5)にアクセスしてみましょう。

(PhETのホームページ(日本語版):

<https://phet.colorado.edu/ja/>)



このページの下の方にあるドロップダウンメニューから言語の種類を選べば、日本語以外の言語でホームページを表示することができます。このことを活用すれば、日本語に慣れていない外国につながる生徒たちでも、母国語でシミュレーションを選び、操作することができます。

ページの上にある「シミュレーション」にマウスポインタを合わせ、表示されるリストから「Browse Sims」をクリックすると、PhETシミュレーションの一覧が表示されます(図6)。

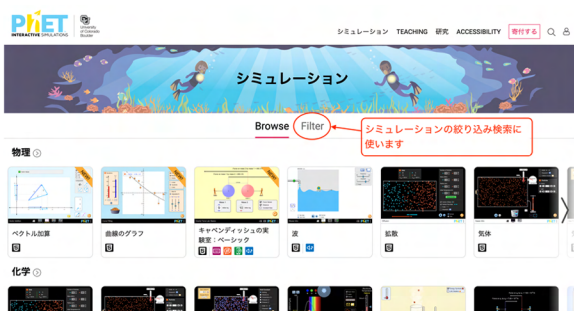


図6 シミュレーションの一覧

シミュレーションは教科別に並べられていますが、絞り込み検索をしてみましょう。ページの上のほうにある「Filter」をクリックすると、画面左側に表示される以下の項目からオプションを選択し、シミュレーションを絞り込み検索できるようになります。

SUBJECT…物理や化学などの教科を選択します。教科はさらに細かい分野（たとえば物理なら、「運動」や「音や音波」等）に分かれています。

GRADE LEVEL…小学校・中学校・高校・大学から校種を選択します。

COMPATIBILITY…シミュレーションのファイル形式を選択します。PCでは全てのファイル形式を扱えますが^{注)}、iPadなどのタブレットでは「HTML5」のファイル形式しか扱うことができません。

ACCESSIBILITY…マウスやタッチパッド以外のデバイス（キーボード等）による多様な入力方法に対応したシミュレーションを選択します。

たとえば、小学校6年理科「てこのはたらき」の学習で利用できるシミュレーションを探してみましょう。この場合「SUBJECT」の「運動」にチェックを入れ（「物理」には自動的にチェックが入ります）、「GRADE LEVEL」では「小学校」にチェックを入れます。また、iPadで利用するために、「COMPATIBILITY」は「HTML5」にチェックを入れましょう。するとこれらの条件を同時に満たすシミュレーションが9つ表示され、その中に「シーソーバランス」というシミュレーションが見つかります。どの単元でどのシミュレーションが使えるかは一覧表（p.9の表3）にまとめます。

さて、利用したいシミュレーションが見つかったら、そのアイコンをクリックしてみましょう。ここでは先ほどの「シーソーバランス」をクリックしてみます。「シーソーバランス」のアイコンをクリックすると、図7の画面が現れます。シミュレーション画像をクリックすると、シミュレーションが開始します（図8）。また、ダウンロードボタン（図7参照）をクリックすると、シミュレーションのファイルをPCにダウンロードして、保存することができます



図7 シーソーバランスの画面



図8 シーソーバランスを起動したところ

（この後説明します）。

②iPadのアプリを使う

タブレット端末やスマホ向けのPhETアプリを使うと、端末がインターネットに接続されていなくても、シミュレーションを実行できるようになります。

iPadやiPhoneでアプリを利用したいなら、AppStoreを起動し、「PhET」でキーワード検索するとよいでしょう。検索結果の中から、「PhET Simulations」を探してインストールします。ただし、アプリをインストールすると100円程度課金されますので、注意が必要です。複数のiPadにPhETのアプリをインストールしたいなら、全てのiPadのApple IDを統一しておきましょう。一台のiPadにPhETのアプリをインストールすれば、Apple IDが同一の全てのiPadに、同じアプリがインストールされます（追加料金もかかりません）。

Androidタブレットでアプリを利用したいなら、Google Playで「PhET Simulations」を検索してインストールしましょう。Android版の注) 今後一般的なブラウザ環境では「Flash」形式のファイルは使えなくなります。

アプリも100円程課金されますので注意してください。

③インターネットに接続されていないPCやiPadに、シミュレーションを保存して用いるインターネット環境が用意されていない教室で、PhETのシミュレーションを用いて授業をするためには、PCやタブレットにシミュレーションをあらかじめ保存しておくとういでしょう。

PCの場合は、図7で出てきたダウンロードボタンをクリックすれば、シミュレーションのファイル（HTML形式）をパソコンに保存することができます。あとはそのファイルのアイコンをダブルクリックするだけで、インターネット環境がなくてもシミュレーションを起動・実行することができます。

一方、iPadにシミュレーションを保存するには、次のように行います。まずSafariを起動し、保存したいシミュレーションを起動しておきます。次にツールバーの「検索/webサイト名入力」欄の右側にあるアイコン（図9）をクリックし、「リーディングリストに追加」を選びます。これでシミュレーションの保存は終了です。



図9 Safari (iPad版) のツールバー

次に、保存したシミュレーションを実行するには、やはりツールバーの「検索/webサイト名入力」欄の左側にあるアイコン（図9）をクリックします。その後、眼鏡の形をしたアイコンをクリックすると、リーディングリストの一覧が表示され、そこに先ほど保存したシミュレーションが表示されているはずですが。そのシミュレーションをクリックすれば、iPadがイン

ターネットに接続されていなくても、シミュレーションを起動・実行することができます。

便利なシミュレーション

ここでは小中学校の理科の授業で使える、便利なシミュレーションをいくつか紹介します。

①直流回路キット（図10）

電池や電球を導線でつないで、画面の上で様々な電気回路を作ることができます。抵抗も用意されているので、複数の抵抗を含む直列・並列回路や、ブリッジ回路等の複雑な回路を作ることにも可能です。適切な回路ができると、電子を模した「粒」や、電流の向きを示す矢印が動くため、回路に電流が流れる様子が一目でわかります。また、電流計や電圧計を用いて電流値や電圧値を計測したり、ツールボックスの中から「クリップ」などを取り出して、「電気を通すものと通さないもの」の実験をすることもできます。小学校から大学までの幅広い校種で使える、便利なシミュレーション教材です。

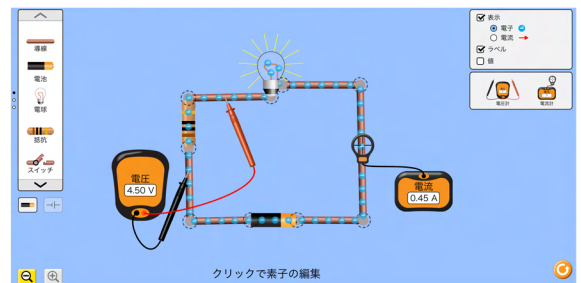


図10 直流回路キット

②シーソーバランス（図11）

小学校6年の「てこのはたらき」の学習では、重さのつりあいについて学びます。教具を用いた実験とともに「シーソーバランス」のシミュレーションを使うと、重さのつりあいについて理解を深めることができます。シミュレーションにはゲームも用意されており、楽しみながら

「てこのはたらき」の学習を進めることができます。

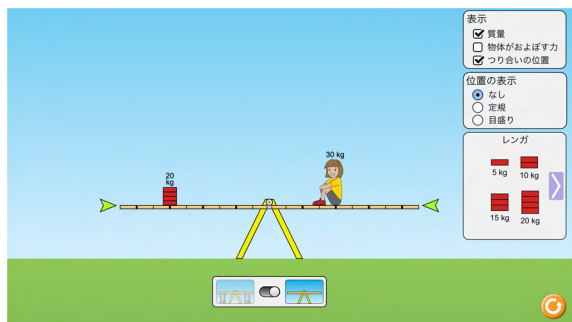


図11 シーソーバランス

③物質の三態：ベーシック (図12)

分子の熱運動の様子と、固体・液体・気体の「物質の三態」との関係をも、このシミュレーションで理解することができます。「原子と分子」の種類を選び、右側の固体・液体・気体のボタンを押すと、分子はそれぞれの状態に応じた熱運動の様子を示します(図12)。画面下の「ヒーター」で熱を加えたり冷やしたりして、連続的に三態の変化の様子を調べることができます。また、「原子と分子」の種類で水分子を選ぶと、水が液体から固体になったときになぜ体積が増えるのかを、生徒に簡単に説明することもできます(図12)。

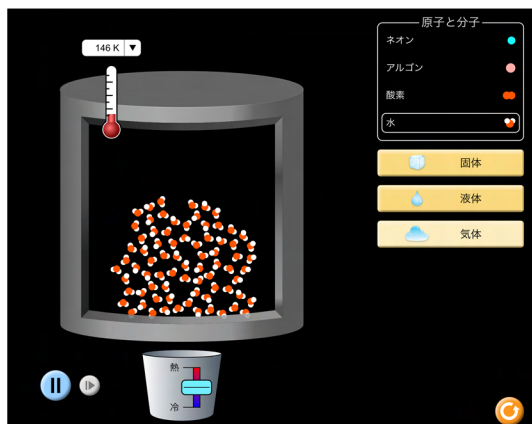


図12 物質の三態：ベーシック

④力学的エネルギーの保存：ベーシック (図13)

中学校3年「仕事とエネルギー」では、摩擦なしで運動する物体の運動エネルギーと位置エネルギーの和が常に保存するという、「力学的エネルギー保存則」を学びます。「力学的エネルギーの保存：ベーシック」のシミュレーションを使うと、レール上を運動するスケーターの運動エネルギーと位置エネルギーの時間変化の様子から、力学的エネルギーが一定になることを理解することができます。また、摩擦がある場合には、力学的エネルギーが一定にならないことも理解することができます。

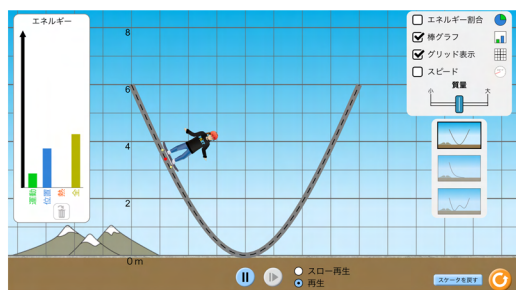


図13 力学的エネルギーの保存：ベーシック

⑤原子の生成 (図14)

陽子、中性子、電子をドラッグして、原子を作ることができます。陽子と電子の数に応じて、元素名やイオンの種類が画面に表示されます。「安定/不安定」にチェックを入れると、中性子の数が適切でない場合に原子核が振動をはじめ、原子が不安定であることをビジュアルで実感することができます。

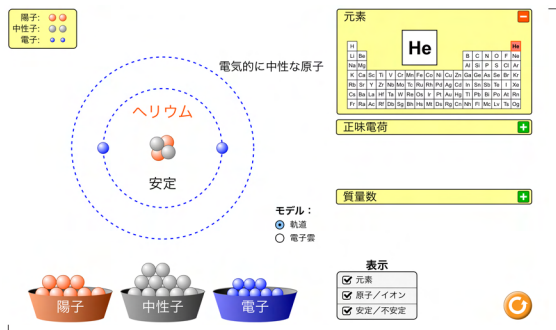


図14 原子の生成

⑥振り子の実験 (図15)

小学校5年「ふりこの動き」の学習では、複数の実験条件を制御することで、ふりこの運動の規則性を調べます。この「振り子の実験」のシミュレーションでは、「ふりこの長さ」,「お

もりの重さ」,「振れ幅」の3つの条件を制御して、ふりこの周期を決める要因を調べることができます。シミュレーションにはストップウォッチが用意されており、実際の実験と同じように周期を測定することができます。また、おもりの運動エネルギーや位置エネルギーのグラフも表示できるため、中学校3年で学習する、「仕事とエネルギー」の学習に役立てることもできます。

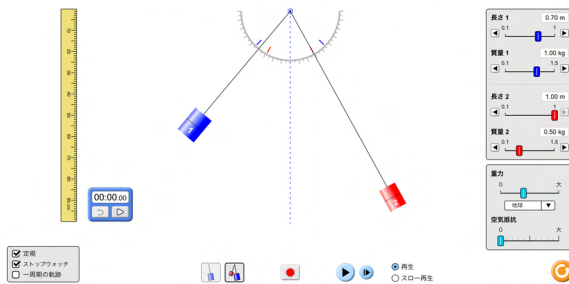


図15 振り子の実験

5. 理科の単元とシミュレーションの対応一覧表

表3に、大日本図書「たのしい理科3年～6年」および「理科の世界1～3」の各単元と、

対応するPhETのシミュレーションの一覧表を示します(物理・化学分野のみ)。

表3 大日本図書の教科書の単元とシミュレーションの対応表

小学校

学年	単元	シミュレーション
3年	音のふしぎ	波
	電気の通り道	直流回路キット
4年	電池のはたらき	直流回路キット
5年	ふりこの動き	振り子の実験
6年	てこのはたらき	シーソーバランス

中学校

学年	単元	章	シミュレーション
1年	物質のすがた	物質の状態変化	物質の三態：ベーシック
		水溶液	濃度
	身近な物理現象	光の性質	光の屈折, 光と色
		音の性質	波
		力のはたらき	力と運動：ベーシック, おもりとばね：ベーシック, フックの法則

2年	化学変化と原子・分子	物質の成り立ち	原子の生成
		いろいろな化学変化	化学反応式, 化学反応
		化学変化と物質の質量	化学反応式, 化学反応
	電流とその利用	電流と回路	直流回路キット, 導線の電気抵抗
		電流と磁界	ファラデーの法則
		電流の正体	風船と静電気, 静電気とカーペット, 直流回路キット
3年	運動とエネルギー	力の合成と分解	フックの法則, 力と運動: ベーシック
		水中の物体に加わる力	圧力
		物体の運動	力と運動: ベーシック
		仕事とエネルギー	力学的エネルギーの保存: ベーシック
	化学変化とイオン	水溶液とイオン	酸・塩基の水溶液と電離, 原子の生成, 同位体と原子量
		酸・アルカリとイオン	酸・塩基の水溶液と電離
	地球と宇宙	月と惑星の運動	重力と軌道
	地球の明るい未来のために	科学技術と人間	エネルギーの形態と変換

6. PhETを用いた授業案

最後にPhETを活用した授業案を紹介します。中学校理科からは1年生「光の性質」、小学校理科からは5年生「ふりこの動き」を選びました。内容は授業の目的からはじまり、シミュレーションの操作方法、授業案という流れで進んで

いきます。

また、ここで紹介したもの以外にも授業案を公開しています。以下のURLよりダウンロードすることが可能です。
<https://phetmyself.themedia.jp/>



光の性質

I. 単元

- 中学校理科 第1学年
- 4つの柱：エネルギー – エネルギーの捉え方
- 章：「光の性質」
- 用いるシミュレーション：PhET「光の屈折」

II. 目的

1. 空気と水の境界で、光はどのように進むかについて理解する。
2. 入射光、屈折光の角度について正しく測定することができる。
3. 全反射について理解することができる。

Ⅲ. 既習事項と本時の学習内容

【既習事項】

学年	単元	学習内容
小学校3年理科	光と音の性質	<ul style="list-style-type: none"> ●日光を利用して光の反射・集光 ●光の当て方と明るさや暖かさ

【本時の学習内容】


- 空気と水の境界での光の進み方について

Ⅳ. 操作方法

- PhET「光の屈折」をダブルクリックすると、図16に示す画面が表示され、「光の屈折」, 「プリズム」, 「測定器を使って」の3つのシミュレーションを選択できる。

【光の屈折】(図17)

- (1) レーザ装置の赤ボタンをクリックすることでレーザー光路を観ることができる。
- (2) 分度器や光度計を用いて、角度や光の強度を測定することができる。

- (3) 動作に不具合が生じたときは、右下のリセットボタン  を押して初期化するとよい。

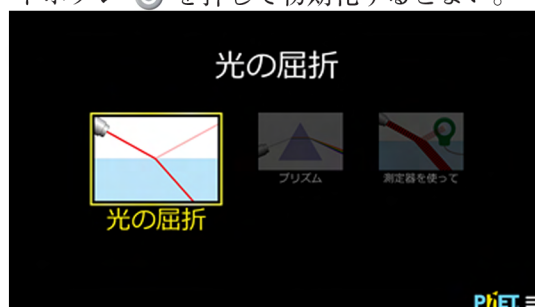


図16

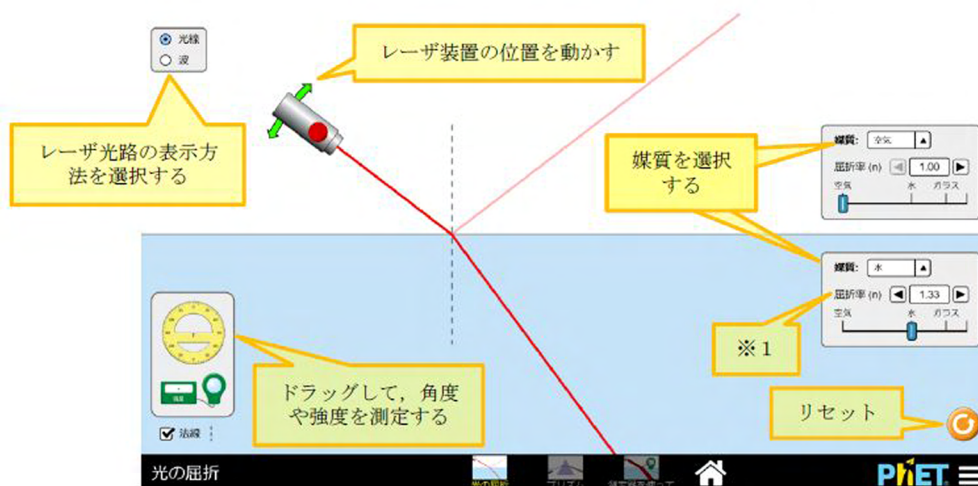


図17

※1 屈折率：屈折の度合い。屈折率の大きい物質ほど、屈折角は小さくなる。

◆PhETを使うポイント！

1. 2つの媒質を自由に変更できる。
2. 光路がよく見える。
3. 媒質の屈折率を連続的に変更し、光路の変化を観察することができる。
4. 光路を波で表すことができる。

[プリズム] (図18, 図19)

- (1) 三角柱や円柱などのプリズムを選択したり，物体の種類や屈折率を変更したりすることができる (図18)。
- (2) 光線の種類 (単色光，複数の光線，白色光) を選択することができる。
- (3) 複数の光線，白色光を選択したときの様子を，それぞれ図18, 19に示す。

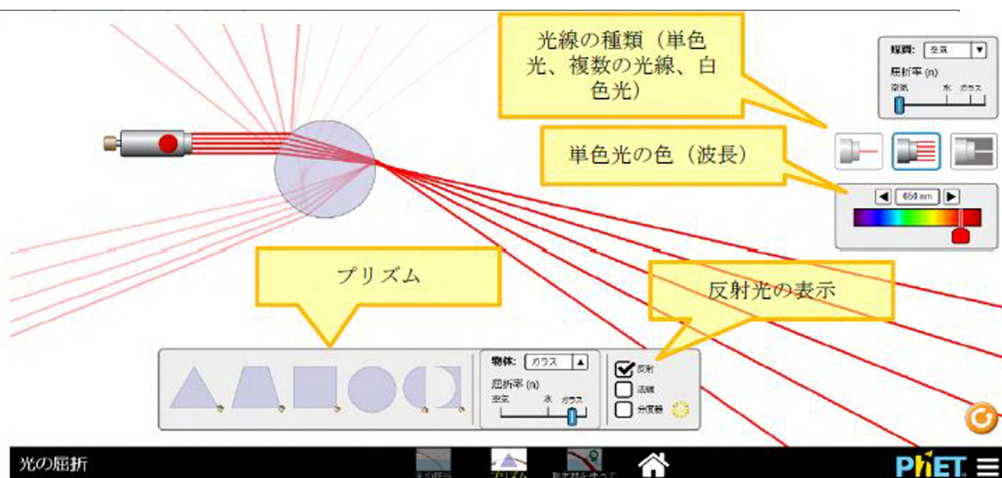


図18

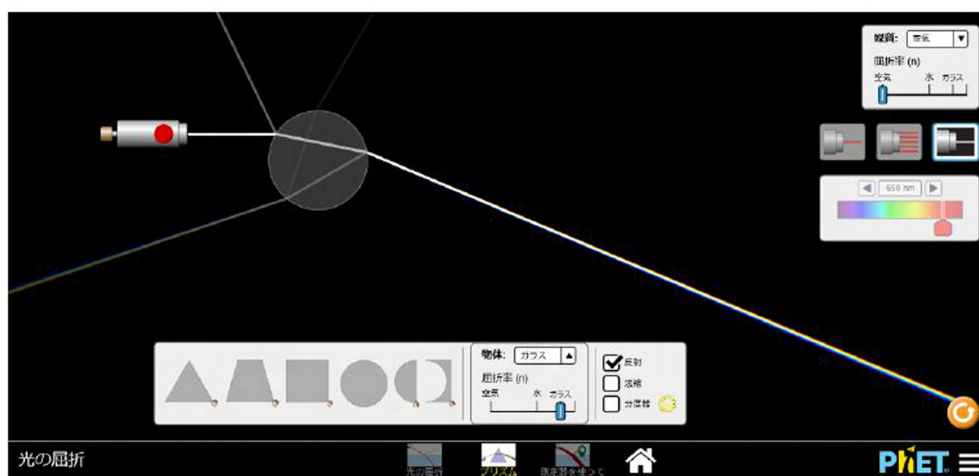


図19

◆ PliETを使うポイント!

5. “1本の光線，複数の光線，白色光”の中から光線を選択して，それぞれによる光路の変化を見ることができる。

〔測定器を使って〕（図20）

- (1) 入射光の波長を変更することができる。また、光の速さを測定できる。
- (2) 入射角、反射角、屈折角の大きさを数値表示して、確認することができる。
- (3) 左のツールボックスから強度計や速度計、オシロスコープをドラッグして各数値を測定できる。

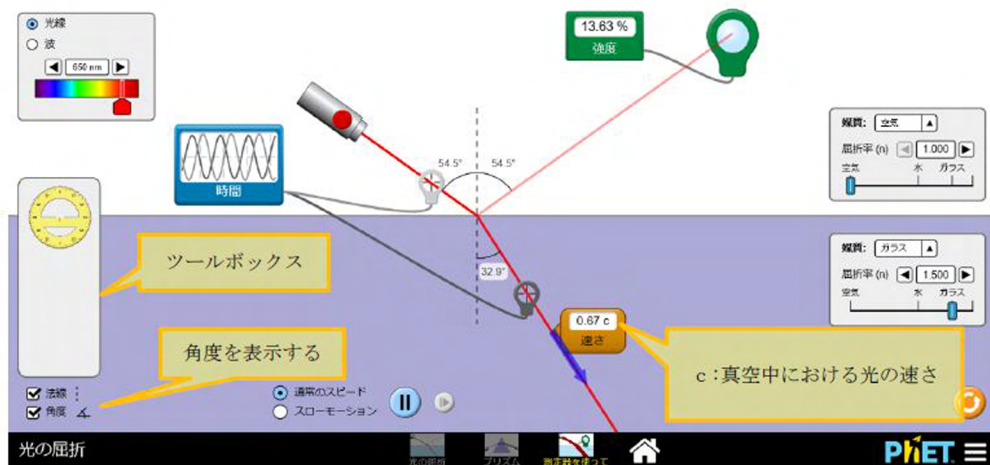


図20

◆ PhETを使うポイント！

6. 【発展】 光源の波長を変更して、角度の変化を確認することができる。

V. 学習の流れ（案）

- 1 学習目標：光路を容易に確認でき、全反射について理解することができる。
- 2 学習過程（50分）

学習内容	時間	指導上の留意点
1. 前時の復習 ●入射光や反射光，反射の法則について復習する。	10分	●入射角と反射角はいつも等しいことを確認させる。 ●必要に応じて、PhETで示して確認する。
2. 【生徒】 光の屈折 測定器を使って	10分	
<div style="border: 1px solid gray; border-radius: 15px; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> 水と空気の境界で、光はどのように進むのだろうか。 </div>		
(1) PhET「光の屈折」の“光の屈折”を開く。 (2) 上側の媒質を“水”，下側の媒質を“空気”に変更する（図21）。		

<p>(3) 入射角が小さくなる位置にレーザ装置をドラッグして動かす。</p> <p>(4) レーザ装置のスイッチを入れる。</p> <p>(5) レーザ光路の変化を確認しながら、ゆっくりと入射角の大きさを大きくしていく。</p> <p>(6) ある角度まで動かすと、屈折光が見えなくなる。</p> <p>この時の入射角、反射角の大きさを測定する。</p> <p>(7) この現象を「全反射」ということを確認する。</p>		<ul style="list-style-type: none"> ● 光は水から空気へ進むことを確認させる。 ● 入射角、反射角、屈折角の大きさに注目させる。
<p>3. 【実験】 全反射について</p> <p>(1) 小型光学用水槽（またはガラス）を使って、光を当てたときの光路を確認する。</p> <p>(2) 水から空気（またはガラスから空気）へ進むときの光路を確認する。</p> <p>(3) 入射角を少しずつ大きくして、反射角及び屈折角の大きさを測定する。</p> <p>(4) 入射角をさらに大きくしていくと、屈折光がある角度で見えなくなる。その時の入射角（と反射角）の大きさを測定する。</p> <p>(5) 班ごとに意見を出し合い、発表する（10分）。</p> <p>4. 本時で学んだことを自分の言葉でワークシートにまとめる。</p>	<p>25分</p> <p>5分</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 光路が見やすくなるように、実験室の電気を消し、暗幕を閉めて、部屋を暗くさせる。 ● PhETを使ったときに確認したことが同様に実験で確認することができたか、問いかける。 ● 全反射という現象は光ファイバーやツリーの飾りなどに応用されていることに触れるとよい。

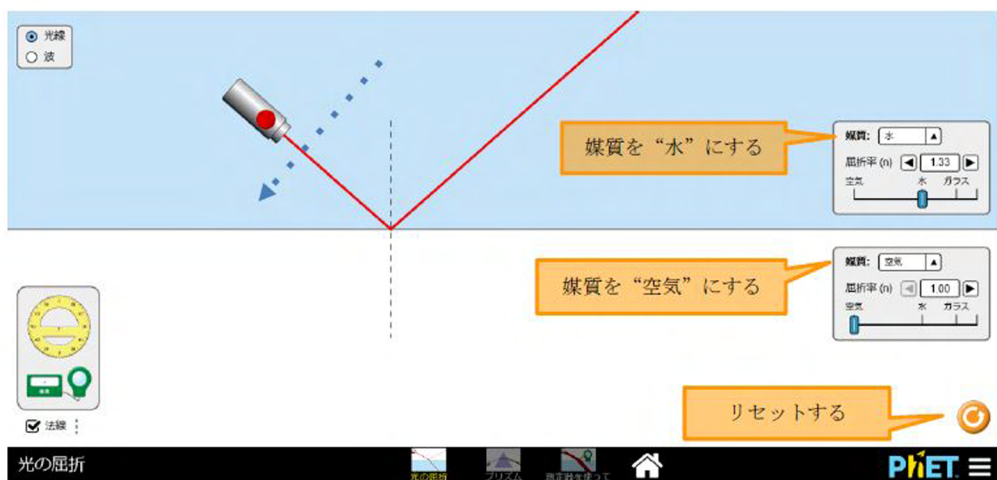


図21

【発展】虹を作ってみよう

「光の屈折」シミュレーションでは、虹を作ることもできます。「プリズム」のシミュレーションを選択し、光の種類は「白色光」を選択します。円柱形のプリズムをドラッグし、媒質を「水」に設定することで、水滴を表現します。あとは「反射」にチェックを入れ、白色光を水滴に当てます。水滴内で1回反射し、2回屈折して外に出てきた光は7色に分かれています。この光を私たちは「虹」として見ているのです。

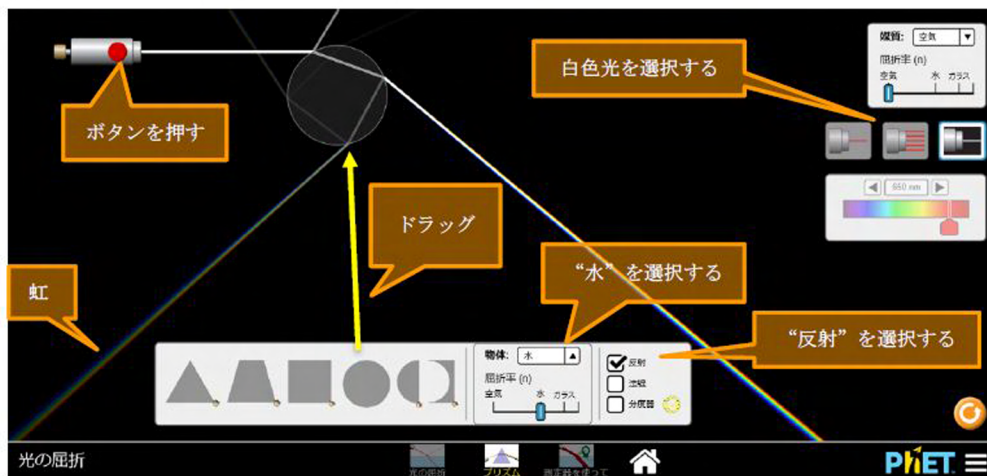


図22

振り子の運動

I. 単元

- 小学校理科 第5学年
- 4つの柱：
エネルギー - エネルギーの捉え方
- 小単元：「ふりこの動き」
- 用いるシミュレーション：
PhET「振り子の実験」

II. 目的

1. おもりを使い、おもりの重さや糸の長さなどを変えて振り子の動く様子を調べる。
2. 振り子の運動の規則性についての考えを深める。

III. 既習事項と本時の学習内容

【既習事項】

学年	単元	学習内容
小学校4年算数	数と計算	<ul style="list-style-type: none">● 概数について● 四捨五入● 四則計算の結果の見積もり

【本時の学習内容】

- 振り子が一往復する時間について

IV. 操作方法

- PhET「振り子の実験」をダブルクリックすると、図23に示す画面が表示され、「はじめに」、「エネルギー」、「演習」の3つのシミュレーションを選択できる。

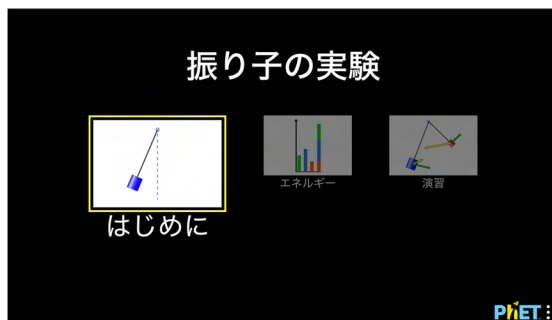


図23

〔はじめに〕 (図24)

- (1) 振り子の長さやおもりの質量を変更できる。
- (2) 振り子にはたらく重力や空気抵抗を変更できる。

- (3) 振り子を2つにしたり、1周期の軌跡を表

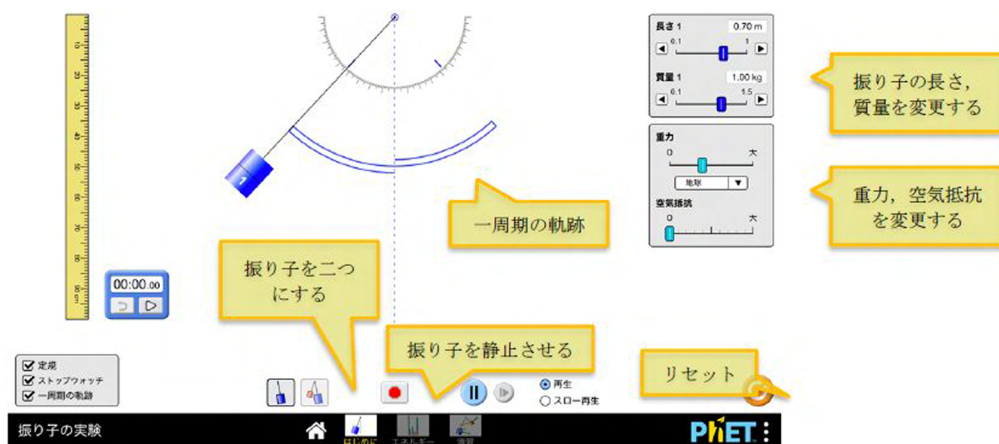


図24

◆ PhETを使うポイント!

1. 振り子の長さ、またはおもりの質量を変更して、振り子が一往復する時間をストップウォッチで測定する。空気抵抗をゼロにすることができ、理想的な状況下で実験を行うことができる。
2. 【発展】右ボックス内の“重力”を“月”または“木星”を選択して、振り子の周期を測定する。月は地球よりも重力が小さいので周期は長くなり、木星は重力が大きいため周期は短くなる。これらのことをシミュレーションで確認することができる。

〔エネルギー〕 (図25)

(1) 運動エネルギー，位置エネルギー，熱エネルギー，総エネルギーの大きさをリアルタイムでグラフに表示する。

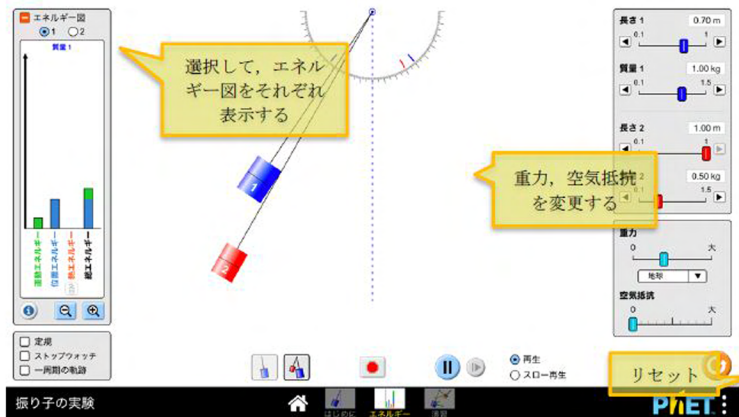


図25

◆ PhETを使うポイント！

3. 【発展】 右ボックス内の“空気抵抗”をゼロより大きくすると，振り子の振れ幅はだんだんと小さくなり，エネルギー図から熱エネルギーに変換されていることが確認できる。エネルギー変換の学習につなげることができる。

〔演習〕 (図26)

(1) “速度”，“加速度”の大きさと向きを常に矢印でベクトル表示する。



図26

V. 学習の流れ (案)

- 1 学習目標：振り子が一往復する時間が変化する条件について理解する。
- 2 学習過程 (45分)

学習内容	時間	指導上の留意点
1. 導入 ●ブランコを例に，振り子に対するイメージを共有する。	5分	●なんでもよい。ブランコがどんな動きをするのかについて発表させて，振り子についてのイメージを膨らませる。
2. 【実験】振り子が一往復する時間 ●振り子が一往復する時間について考える。	25分	●振り子の条件は，振れ幅・おもりの重さ・振り子の長さの3点であると伝え，条件をどのようにすると一往復する時間は変化する，または変化しないのかについて考えさせる。
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;"> 振り子が一往復する時間は，どんな条件で変わるのだろうか </div>		
(1) スタンド，糸，おもり，分度器，クリップ，電卓，ストップウォッチを各班に用意しておく。 (2) 実験器具を組み立てる。 (3) 振れ幅，おもりの重さ，振り子の長さのいずれかの条件のみを変更して，振り子が一往復する時間を比較する。 (4) 班ごとに実験結果をまとめる。 (5) 班の意見を全体で発表する。		●時間がかかる可能性が高い。必要に応じてある程度準備しておくとうよい。 ●各実験において，同じ条件は何かについても整理させる。 ●「振り子が一往復する時間は，振り子の長さで変わり，振れ幅やおもりの重さを変えても変化しない。」ことを理解させる。
3. 【生徒】振り子の運動 PhET ●同様の実験をPhET上で再現する。 (1) PhET「振り子の運動」の“はじめに”を開く。 (2) 振り子を2つ表示して，条件を1つだけ変えて一往復する時間を比較する。 (3) 振れ幅，おもりの重さ，振り子の長さの大きさは数値で表示されているので，正確にノート等に記入する (図27)。 (4) 結果を全体で確認する。	10分	●運動の様子を同時に比較することができる。 ●また，空気抵抗は無視して考えることができるので，長い間一定の時間で一往復する様子を確認させる。

<p>4. ふり返り</p> <ul style="list-style-type: none"> ●本時で学んだことを自分の言葉でワークシートにまとめる。 	<p>5分</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●疑問をもったままの子どもがいることが考えられる。必要であれば、PhETをもう一度使う機会を設ける。
---	-----------	--

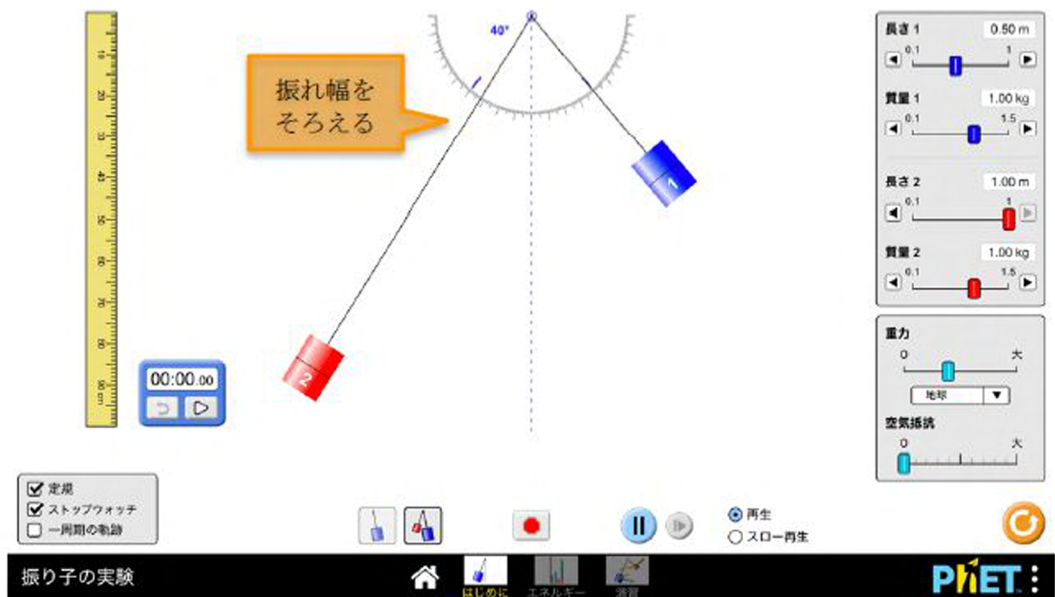


図27

(注意) この授業案のように、1回の授業で実験とシミュレーション実験を両方やるのが時間的に厳しい場合は、実験をやった授業の次の授業の冒頭で、前時の復習としてシミュレーション実験を行うという方法もあります。

7. おわりに

最後にPhETの開発責任者の1人であるアリエル・ポール博士から直接伺った、「PhETを授業で効果的に活用するコツ」を2つ紹介します。

まず、PhETを実験と組み合わせて授業で使うということです。本誌p.4で紹介した「電流とその利用」の授業実践例では、実験の回路の安全性を確かめるために、前もってシミュレーション実験を行いました。この他にも、先生がある科学概念をシミュレーションを用いて解説した後に、生徒たちが実験で確認するという授業も考えられます。このようにシミュレーションと実験を組み合わせることで、科学概念の理解がより一層深まることが期待できます。

もう1つは、生徒にPhETで思う存分に“遊ばせる”ということです。ポール博士は、生徒がPhETを「自分の手足のように使える道具」だ

と認識することが、何よりも大事だと言います。本誌p.2で紹介した「光の性質」の授業でも、とにかく時間の許す限り生徒たちにPhETを使ってもらいました。第7時で行った「油とビーカー」実験の原理は、中学生にとって少しハードルの高い課題でしたが、生徒たちは自発的にタブレットに手を伸ばし、PhETを操作しながら最終的な答えを導いたのでした。

PhETがタブレットやスマートフォンでいつでも使えるということは、実験室を常に持ち運んでいるようなものです。PhETで思う存分“遊んだ”生徒たちが高校や大学で科学の問題を考えるときには、必ずやPhETがその解決の一助になってくれるでしょう。

1人1台端末時代の今、PhETが生徒たちの良き「手足」となって、新しい理科の授業が展開されることを期待しています。