

小中学校の理科の授業における シミュレーション教材 PhET の活用

國仲 寛人・荻原 彰・後藤太一郎

Utilization of the interactive simulation PhET in science classes
of primary and lower secondary schools

Hiroto KUNINAKA, Akira OGIHARA and Taichiro GOTO

要 旨

理科の授業実践における ICT の活用としてシミュレーション教材が知られているが、小中学生を対象としたものは現象をアニメーションにより説明するだけのものが多い。コロラド大学ボルダー校物理学科で開発されたシミュレーション教材 PhET (The Physics Education Technology Project) は、様々な科学現象を小学校から大学レベルまで扱える構成となっており、日本語にも翻訳されている。PhET のホームページにアクセスすれば、誰でも無償でホームページ上のシミュレーションを活用することができる。しかしながら、日本の小中学校ではほとんど普及していない。様々な条件設定をすることで科学現象を理解できることから、私たちは小中学校における PhET を活用した授業づくりを教員研修を通じて提案し、三重県内の小中学校教員による実践が行われはじめた。ここではその取組状況と、PhET を効果的に使うための課題について報告する。

キーワード: インタラクティブ・シミュレーション、PhET、ICT、授業モデル、CST (コア・サイエンス・ティーチャー)

1. はじめに

小中学校における理科の学習の中で、児童生徒の好奇心や探究心を高めて科学的思考を育むために、実験や観察は必要不可欠である。しかし、理科で扱う諸現象の中には、時間的・空間的スケールが大きく、実験や観察が行いにくい現象（気団、地層の形成など）も含まれる。また、高度に抽象的な概念を扱うために実験や観察を行うだけではその背後の機序を十分に理解できない現象（電流、磁界など）も存在する。そのため、そのような現象を扱うに際しては、モデル（現象の特定の側面を抽出し、簡単な図式や具体物に置き換えて理解しやすくしたもの）が使われることが多い。

これまで、モデルの導入や使用は教師の講義の中で図式を示したり、模型を提示するといった方法で行われてきたが、動的な事象を扱う場合はこのような方法では理解しにくい。そのため、近年はコンピューターを使ったアニメーションやシミュレーションでモデルを提示することが多くなってきた。しかし、現象に対する、より多面的で本質的な理解を促進するためには、アニメーションや開発者の設定した条件でのみ作動す

るタイプのシミュレーションよりも、教師や児童生徒が条件設定を自ら行うことができ、境界条件の存在や条件統制された実験の結果などを探究的に扱うことができるタイプのシミュレーション、いわゆるインタラクティブ・シミュレーションが適している。インタラクティブ・シミュレーションには、国立天文台が開発した MITAKA などいくつかの分野では傑出したものが存在するが、各シミュレーションを個別にインストールすることが必要で、操作にも一定の熟練が必要とされることが多い。

そこで私たちは、操作が簡単でブラウザ上で利用できる、理科の全分野にわたって多数の教材が開発されている PhET¹⁾ (The Physics Education Technology Project) に注目し、教員研修などを通じてその普及と PhET を利用した教材の開発を行ってきた。本研究はその実践を総括し、今後の課題について考察したものである。

2. PhET の概要

PhET はコロラド大学ボルダー校物理学科のカール・ワイマン教授らによるプロジェクトで、2004 年に

開発された、理科の能動的学習を支援するシミュレーション教材である[1, 2]。PhET は小学校から大学レベルにわたり、数学や科学分野の学習に役立つようデザインされている。現在 129 種類のシミュレーションが 37 か国語に翻訳されているが、そのうち 126 種類のシミュレーションが高知工科大学の石本美智氏により日本語にも翻訳されている。

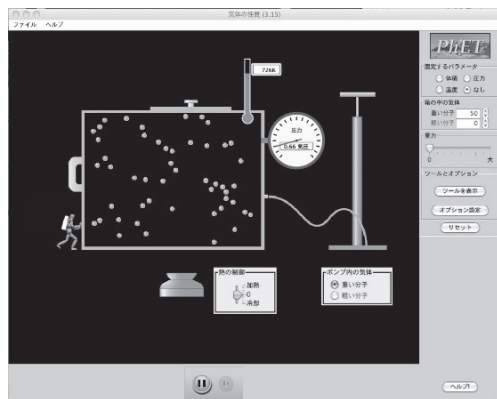


図 1：気体の性質のシミュレーション

一例として、図 1 に「気体の性質」シミュレーションのスナップショットを示した。容器の中にポンプで気体分子を閉じ込め、体積や圧力を変化させたときの温度変化などを調べることができる。このシミュレーションを授業中に用いて、気体の法則（ボイル＝シャルルの法則）が成立することを、リアルタイムシミュレーションで示すことも可能である。

PhET は基本的にはインターネットに接続されたパソコンがあれば利用できるが、パソコンに必要なシミュレーションをダウンロードすれば、オフライン環境でも実行することが可能である²⁾。ただし、PhET の作動には、パソコンに Java や Flash といったプラグインをインストールしておく必要がある。近年はそれらを HTML5 のファイル形式に変換する作業が進められており、タブレットや Chrome Book などの様々なデバイスで活用できるようになってきた。2016 年 10 月には iPad 版のアプリ (有償) がリリースされたことから、授業やグループ学習などにおける活用の可能性が広がった。

PhET のホームページには、様々な国の教員が作成した指導案やワークシートがアップロードされており、自由にダウンロードして使用することが可能であるが、そのほとんどが英語などの外国語によるものである。最近、私たちも日本語のワークシートの掲載を行っている。

3. PhET の活用に関する研修講座

国内における PhET の活用は、SSH (スーパー・サイエンス・ハイスクール) 指定高校や、一部の理工系学部における授業でみられるものの、小中学校教員の間に PhET は普及しておらず、小中学校での活用はほとんど例がない。

教育現場への PhET の普及のためには、教員向けのトレーニングセミナーの開催が効果的である。アメリカにおいては全米物理教師学会 (American Association of Physics Teachers, AAPT) などの学術的会合において、教員向けのワークショップが開かれている。また PhET のホームページ上には、教員が PhET の使い方を学べるビデオコンテンツが用意されている。

日本における研修講座としては、高知工科大学の石本美智氏が教員免許状更新講習で実施した例がある³⁾。私たちのグループでは PhET のコンテンツを活用できる単元の抽出を行い、三重県における CST (コア・サイエンス・ティーチャー) 養成講座 (2013～)、三重大学における教員免許状更新講習 (2015 年～) および四日市市教員研修 (2016 年) において主に小中学校教員に対し、授業における活用法についてのセミナーを開催している。また、CST が開催する教員研修で他の教員に対して活用方法を伝達している。中学校教員からの意見や実践により、中学校で活用できる 23 のシミュレーションを選定し、このうち 11 についてはオリジナルのワークシートを作成している。

表 1：シミュレーションと対応する単元

シミュレーション名	対応する単元
シーソーバランス	小学校「てこの規則性」
振り子の運動	小学校「振り子の運動」
スケートパーク	中学校「仕事とエネルギー」
直流回路	中学校「電流の性質とその利用」
風船と静電気	中学校「電流の正体」
エネルギーの形と変化	中学校「仕事とエネルギー」
光の屈折	中学校「光による現象」
幾何光学	中学校「光による現象」
物質の状態ベーシック	中学校「物質の状態とその変化」

ここでは、三重大学の教員免許状更新講習における PhET の教員研修について紹介したい。三重大学の教員免許状更新講習においては、「理科の授業に役立つコンピュータシミュレーション」(講師：國仲寛人)という講座を毎年度開催しており、小学校教員や中高の理科教員を対象に講習を行なっている。講習では 9 つのシミュレーションを取り上げ (表 1)、基本的な操作方

法を説明した後に、オリジナルのワークシートを用いた実習を通して、受講者が自分の授業での活用について考える機会を設けている。

これまで行なった講習のうち、教員免許状更新講習と四日市市教員研修においては、受講者にアンケートの記入をお願いしている。アンケートの項目は次のとおりである。

- ・ 勤務校の校種
- ・ 勤続年数
- ・ PhET は授業で活用できると思うか
- ・ 次のどの形態で活用できると思うか（演示実験・グループ学習・両方・その他）
- ・ PhET を自身の授業で使ってみたいか
- ・ 授業で使えそうなシミュレーションはどれか
- ・ PhET に関してもっと情報が欲しいと思うか
- ・ 今後どのような情報が欲しいと思うか

アンケート対象者は 39 名（小学校 24 名、中学校 13 名、高校 1 名、特別支援学校 1 名）であり、教員免許状更新講習（2016 年 7 月 9 日）参加者と四日市市教育委員会夏季教職員研修会（2016 年 7 月 29 日）参加者の人数は、それぞれ 6 名、33 名である。

表 2：アンケートの結果（その 1）

校種	はい	いいえ	計
小学校	22	2	24
中学校	13	0	13
高校	1	0	1
特別支援学校	1	0	1
計	37	2	39

表 2 には「PhET は授業で活用できると思うか」という質問に対する回答を校種別に示した。37 名が「はい」と回答していることから、ほとんどの教員が授業でも活用できると考えていることがうかがえる。なお、「PhET を自身の授業で使ってみたいか」という質問に「はい」と回答したのも 37 名であったが、残りの 2 名は PhET は授業で使えると考えているものの、自身の授業で使うかどうかはわからないという回答であった。PhET が授業で使えないと答えた理由については

- ・ 小学生には操作が難しい
- ・ すべてのパソコンに入れない
- ・ パソコンや通信機器が充実していない

などの意見があり、生徒によってマウス操作の習熟度にばらつきがあることを危惧する意見も見られた。

次に、「PhET はどの形態で活用できると思うか」という質問に対する答えを表 3 に示す。授業における

PhET の使い方として、教員が PhET の画面をスクリーンに投影し、科学概念の説明などに用いる「演示実験」と、生徒をいくつかの班に分け、班ごとにノートパソコンなどを用いて操作させる「グループ学習」が考えられるが、アンケート結果ではその両方で使えると考えている教員がもっとも多いことがわかった。グループ学習で使えるという答えの方が少ない理由としては、ノートパソコンやタブレットを必要な数だけ確保できないといった、勤務校の設備の問題が影響していると考えられる。

表 3：アンケートの結果（その 2）

形態	人数
演示実験	10
グループ学習	2
両方	25
回答なし	2

また、「授業で使えそうなシミュレーションはどれか」という質問に対する答えを表 4 に示す。ほとんどの参加者が「直流回路」と「物質の状態ベシク」を挙げた。講習で紹介した 9 つのシミュレーション以外にも、空き時間などに自分で試したシミュレーションを答えとして挙げた参加者もいた（大気の温度効果など）。

表 4：アンケートの結果（その 3）

シミュレーション名	件数
直流回路	19
物質の状態ベシク	12
光の屈折	5
シーソーバランス	3
スケートパーク	3
大気の温度効果	3
分子の生成	2
風船と静電気	1
気体の性質	1
静電気の発生	1

受講生からの反響が最も大きく、小学校から大学までの広い範囲で活用できると思われるのが「直流回路キット」のシミュレーションである⁴⁾（図 2）。電気はその実態が目に見えないこともあり、電流や電位などの様々な物理概念を理解するには時間を要する。手軽な実験装置は、それらの概念の理解に有用であるが、中学校の教科書に出てくるような単純な直流回路や並

列回路を組むだけでも、電池や豆電球などの材料集めや、電流計などの装置を用意するための労力は大きい。

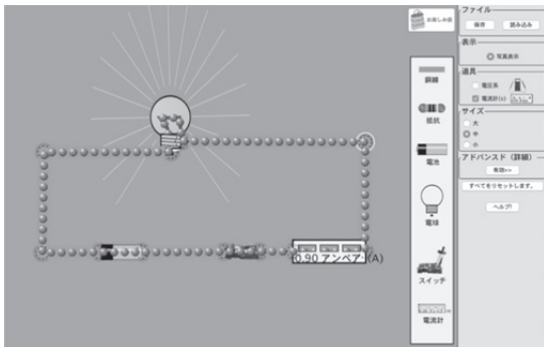


図 2：直流回路のシミュレーション

「直流回路キット」のシミュレーションは、パソコンやタブレットの画面上で部品をドラッグするだけで回路を作成でき、教科書に取り上げられるような実験を直ちに行うことができる。電流計や電圧計も用意されているので、回路の任意の位置における電流・電圧値を測定することも可能である。複雑なブリッジ回路なども作成でき、高校や大学レベルの電磁気学の学習にも役に立つ。また、このシミュレーションにはクリップや紙幣などのツールが用意されており、小学校3年生の「電気を通すものと通さないもの」の学習に役立てることも可能である。

最後に「PhET に関してもっと情報が欲しいと思うか」という質問に対しては、32名の教員が「思う」と答えた。どのような情報が欲しいかという質問には、「実際の授業の活用例」(19名)という答えが最も多く、授業内容に即したマニュアルに対する需要は大きいものと思われる。

4. PhET を活用した授業実践

ここでは、教員講習で最も反響の大きかった「直流回路キット」のシミュレーションを授業に活用した例を二つ紹介したい。

(1) 小学校

研究協力者で、三重 CST 教員である津市立 C 小学校の伊藤信介教諭は、理科や算数の授業に PhET を活用している[3]。

授業実践の一つとして、「直流回路キット」の活用が第4学年「電気の働き」の単元で行われた。この単元では、乾電池が2個と1個で流れる電流がどのように変化するかを、豆電球の明るさやモーターの回り方で調べる。乾電池2個のつなぎ方には、乾電池1個のと

きと比べて明るくなるつなぎ方(直列つなぎ)、乾電池1個のときと同じ明るさになるつなぎ方(並列つなぎ)、明かりがつかないつなぎ方の3つのつなぎ方がある。

この3つのつなぎ方があることを理解させるために、「直流回路キット」を活用した授業が組み立てられた。

「電気の働き」の単元導入として、パソコン室で児童に「直流回路キット」を実際に使わせ、第3学年「電気の通り道」の復習として、豆電球、乾電池1個、導線を使った回路を作成させた。これにより、演示実験に対しても児童が理解できる状況を作った。

次に、児童に「乾電池を2個にすると、乾電池1個のときより豆電球は明るくなる」を仮説として、豆電球2個の回路を考えさせた。グループで予想図を描かせ、それぞれの回路についてどうなるかを「直流回路キット」を用いて実験した。教室には大型テレビ1台しかないことから、ここに映し出すことで演示実験とした。大型テレビにシミュレーション画面を映し出すことで、乾電池1個のときの豆電球の明るさと乾電池2個のときの豆電球の明るさを明確に比べることができる。

乾電池2個を並列につなぐ考えは児童から出なかったため、授業前に指導者が画用紙に描いたものを提示した。回路を実証する前に児童に予想させたところ、同じ極どうしがつながっていることから、明かりがつかないという予想が多かった。その後実際にシミュレーションを用いて豆電球の明るさを確かめ、この授業でわかったことをノートにまとめさせた。

次の時限では「直流回路キット」で作成した回路を児童自らが実物教材を使って作成し、乾電池2個のときの豆電球の明るさを確認する活動も行われた。シミュレーションによる学習とともに実験による体験をすることで、知識の定着が図られた。

実物教材を使用することは必要ではあるが、実験は通常班ごとに行うため、課題が必ずしも共有されず、実験操作にのみ意識が集中してしまう状況も見られる。また、検証するための回路を児童に作らせているだけで、時間が大きくかかってしまう。実験を精選し、PhET の演示による課題共有などを併用することでこのような状況を改善し、焦点の絞れた授業にすることができると示す事例と言える。

(2) 中学校

中学校の理科の授業においては直列回路や並列回路などの電気回路と電流・電圧の概念について学ぶが、電気は目に見えないため生徒にとって理解が困難な単元でもある。電流・電圧の概念の理解のために教科書では電流を水流に例えた「水流モデル」[4]が用いられることがあるが、津市の中学校で「粒子モデル」を用

いた授業が行われている。これは電流を「電気の粒の流れ」とみなし、電圧を「電気の粒が持つ元気」とみなすモデルで、電流に関するキルヒホッフの法則などの理解に効果があると考えられる。

私たちは2017年1月に津市立T中学校において、理科の高城紀孝教諭（現在は津市立G中学校教諭）の協力のもと、PhETの「直流回路キット」を活用した研究授業を行なった⁵⁾。研究授業は高城教諭による中学校2年生の理科の授業の中で行われた。まず通常の授業で粒子モデルを用いて電流と電圧の概念について学習させた後、複雑な回路の電流値や電圧値を求めさせる発展問題（高校物理レベルを含む）を出題した。生徒は4～5人で構成される班に分かれ、それらの問題に答えを出した後、PhETの「直流回路キット」を用いて答え合わせをした。

授業では高城教諭によって問題が記載されたワークシートが配布され、生徒たちは各自答えを考えた後各班で意見をまとめた。その後、各班に1台ずつ配布されたノートパソコン（Mac Book Air）で「直流回路キット」を起動し、問題と同じ回路を用いて実験を行なった。ここで、回路は生徒が組むのではなく、あらかじめ私たちが用意した回路ファイルをシミュレーションで読み込ませた。「直流回路キット」では、自分で回路を作成した後ファイルに保存して再利用することが可能である。そのため、複雑な回路を扱うときや、生徒によってマウス操作技術にばらつきが大きいときに便利である。

生徒たちは実際に画面上の電流計や電圧計を操作し、回路の電流や電圧を測定し答え合わせを行なった。問題が早く終わった班には、自由に回路を組んでいろいろな実験を試しても構わないという指示を教員が出したところ、生徒たちは思い思いの回路をコンピュータ上に作成し、実験を楽しんでいた。

ここで、「直流回路キット」のもう一つの活用法について述べておきたい。「直流回路キット」ではショート回路などの過剰な電流が流れる回路を作成したときに、電池が燃えるアニメーションが表示される（図3）。ショート回路の危険性を実験で示すのは安全面上の問題があるが、このシミュレーションを使うと危険な状況を安全に再現して生徒に提示することができる。また、生徒が回路を組む前にPhETで同じ回路を構成し、安全な回路であることを確かめてから実際の実験を行うといった使い方も可能になる。

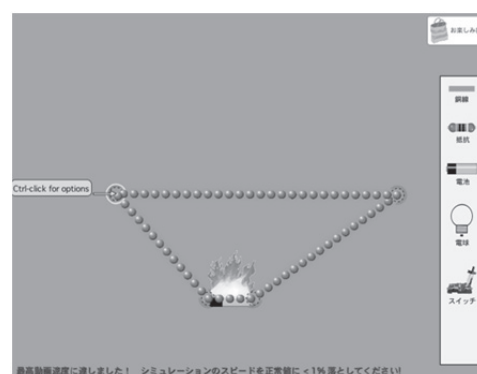


図3：ショート回路のシミュレーション。過剰な電流が流れたため、下にある電池が燃えている。

5. 課題と今後の取組

PhETが日本語に翻訳されたのが2013年であることから、私たちが三重CST養成の研修講座で取り上げた2014年の段階では、小中学校での活用は報告されていなかった。研修の受講者からは、PhETは優れた教材であり、PhETを授業で試行すると児童生徒が興味を持つと聞いている。しかし、PhETの活用状況は少なく、特に小学校では極めて少ない。PhETが無料で使用できるすぐれたアプリであるため、公教育でもすぐに活用できると考えたが、実際には普及は進んでいない。

その理由の一つは、ICT機器の活用に関して教育現場では整備が進んでいないことがあげられる。学習指導におけるICTの活用は広まったとはいえ、日本の公教育におけるICT機器の整備やネットワーク環境は海外の先進国に比べて進んでいない。したがって、ICTの活用といっても、実物投影機、液晶プロジェクター、デジタル教科書がほとんどで、理科におけるICTの活用としても、動画やアニメーションであったり、タブレット端末を使用する場合でもカメラ機能の活用が主なものである[5]。さらに、教師が使用したいと思ったアプリを学校のPCにインストールすることが制限されることも多い。今回、PhETを活用した授業実践をした教員は、三重CST教員の場合、授業用のPCを有していることから自由にPhETを活用できるが、そうでない場合はPhETを入れたPCを貸し出した。

また、もう一つの理由として、新しい教材や資料をどのように使うかは教師の授業技術に大きく依存することがあげられる。動画やアニメーションであれば、授業の中で見せるだけですむが、シミュレーション教材を扱う場合は、そのための指導案を作成しなければならない。実際に、三重県におけるCSTを中心に活用

について紹介した結果、中学校では授業の中でピンポイント的に活用していたが、授業の中で計画的に活用している例は少ない。その理由としては、PhET はよいアプリであるが、どのように単元に組み込むかわからないというものであった。

PhET にかぎらず、シミュレーション教材では条件設定など、予め授業展開を十分に検討しておく必要があるために、準備に時間がかかる。児童生徒にできるだけ実験をさせたいという教師には、シミュレーション教材は不要と考えることもあるだろう。これについて、小学校で PhET の活用を進めている伊藤（2017）は以下のように述べている。「本実践をするまで、実験は実物教材を使ってするものだと考えていた。もしかしたら、児童に実験をさせているだけで満足していたのかもしれないし、実験することが目的になっていたのかもしれない。」そして、「児童が考えた予想、仮説を実証するために実験はするも実物教材を用いて実験するのが適切なのか、シミュレータを用いて実験するのが適切なのか見極めることが必要となる。児童がわかりやすい教材を指導者が適切に判断することが大切である。」と提言している。現在の PhET の統括マネージャーである Kathrine Perkins 氏によれば、PhET と実験を組み合わせた授業を行うと、学生の理解度が最も高くなるとのことである。

2 期教育振興基本計画で ICT の活用が進められているが、地域による差が大きい。タブレットが少しずつ導入され、新学習指導要領が導入される 2020 年には理科における ICT の活用も進むであろう。タブレットが教育現場に普及すれば、児童生徒が PhET シミュレーションを実行することで、能動的に科学概念を学ぶことが可能となる。iPad 版の PhET は現在英語のみであるが、日本語への翻訳を私たちが進めていることから、近々には iPad での利用もしやすくなる。

PhET は児童生徒の科学的概念の理解を補助するものの、教員の中には、授業での具体的使用法に関するニーズが高い。一定の時間の中で活用するためには、授業展開の中で、実験条件を具体的に設定したマニュアルの作成も必要であり、児童生徒用のワークシートも欠かせない。また、理科における ICT 活用の推進の観点からも、PhET を活用した授業展開のマニュアルの作成と公開は重要であると考え、現在、私たちはその整備を進めているところである。

注

- 1) 「フェット」と発音する。
- 2) <https://phet.colorado.edu/>
- 3) http://www.kochi-tech.ac.jp/kut/social_contribution/img/license_renewal/H28_yoko.pdf

- 4) 2017 年 10 月に HTML5 版がリリースされ、タブレットやスマートフォンで手軽に利用できるようになった。
- 5) 高城紀孝、荻原 彰、國仲寛人（2017）中学校での「回路と電流・電圧」の指導における粒子モデルと PhET の利用
平成 29 年度日本理科教育学会第 63 回東海支部大会。

引用文献

1. Carl E. Wieman, Wendy K. Adams, and Katherine K. Perkins (2009) PhET: Simulations that enhance learning. Science, Vol.322, pp.682-683.
2. 覧具博義(2010) 能動的学習を支援する PhET シミュレーション教材. 大学の物理教育, Vol.16, No.1, pp.34-37.
3. 伊藤信介(2017) インタラクティブシミュレータを活用した理科授業 -第 4 学年「電気の働き」の学習を通して-. 理科の教育, Vol.66, No.775, pp.35-38.
4. 倉信充人、塚田真也、栢野彰秀(2015) 自作「水流モデルによる中学校理科「電流」単元の授業実践、教育臨床総合研究 14 2015 研究, pp.141-155.
5. 神奈川県立総合教育センター (2008) 授業における ICT 活用ガイドブック ～理科編～. 32pp. (<http://www.edu-ctr.pref.kanagawa.jp/rika/>)