

シミュレーションを用いた物理教育

SIMULATION FOR PHYSICS EDUCATION

稲垣 知宏¹⁾, 太田 朱美²⁾, 佐々井 祐二³⁾, 隅谷 孝洋⁴⁾, 長登 康⁵⁾,
中村 純⁶⁾, 平方 正樹⁷⁾, 福永 優⁸⁾

Tomohiro INAGAKI, Akemi OHTA, Yuji SASAI, Takahiro SUMIYA, Yasushi NAGATO,
Atsushi NAKAMURA, Masaki HIRAKATA and Masaru FUKUNAGA

- ¹⁾理博 広島大学講師 情報メディア教育研究センター (〒 739-8521 東広島市鏡山 1-7-1)
²⁾博士課程前期学生 広島大学大学院 生物圏科学研究科 (〒 739-8521 東広島市鏡山 1-7-1)
³⁾理博 大島商船高専助教授 電子機械工学科 (〒 742-2193 山口県大島郡大島町小松 1091-1)
⁴⁾学博 広島大学助教授 情報メディア教育研究センター (〒 739-8521 東広島市鏡山 1-7-1)
⁵⁾学博 広島大学助手 情報メディア教育研究センター (〒 739-8521 東広島市鏡山 1-7-1)
⁶⁾理博 広島大学教授 情報メディア教育研究センター (〒 739-8521 東広島市鏡山 1-7-1)
⁷⁾博士課程前期学生 広島大学大学院 理学研究科 (〒 739-8526 東広島市鏡山 1-3-1)
⁸⁾博士課程後期学生 広島大学大学院 理学研究科 (〒 739-8526 東広島市鏡山 1-3-1)

In this age of information technology computer simulations can play an important role in physics education. It can visualize physical phenomena, which are difficult to realize experimentally, in a classroom. Here we discuss educational effects of the computer simulation. Before using the computer simulations for education we must teach a computer programming and/or make learning contents. Actionscript on Flash is one of the most convenient and powerful programming environment for the education of physics. It is not only easy to learn but also suitable to visualize some of physical concepts. Therefore we launched a plane to produce a collaboration community to make Actionscript contents for physics education. We show some of Actionscript contents and a prototype model of the collaboration environment which is constructed on a Wiki site.

Key Words : *Physics education, ActionScript, Wiki*

1. はじめに

物理教育の目的の一つは自然の振る舞いについて物理的な観点で理解し、これを現実社会の中で応用する創造力を養うことにある。このためには、物事を定性的に理解するだけでは不十分であり、自然現象に対する仮説を立て、これを実験により実証していく中で、自然の新しい振る舞いを見出していく力を育てていかななくてはならない。このような教育効果を考慮したさまざまな試みが行われてきているが、ここでは、急激な勢いで初等、中等、そして高等教育の現場にも普及しつつある IT 利用の可能性について議論する [1]。

物理学の概念習得には大きく分けて理解と習熟の 2 つの段階があると考えられる。物理学の新しい概念を知識として身に付ける段階では、関連する自然現象を十分に観察することが有効であるし、新しい概念を活かした形で思考する能力を養う段階においては、さまざまな実験を行いその概念について実際に体感し習熟していくといった学習形態が有効になる。実際に多くの実験と観測を繰り返し行うことが効果的であることは言うまでもないが、時間的、経済的な制約により、限

られた実験と観測しか実施できないといった現状がある。研究現場も事情は同じであり、経済的な制約から多くの実験はコンピュータシミュレーションという形で実施されている。

コンピュータシミュレーションは単に安価に実施できる実験の代替物ではない。そこでは地球上では実現の難しい理想的な環境、極限状態を手に入れることも可能であるし、自然定数を変更することも容易である。また、目で見たり、測定装置で計測することのできないものを可視化することもできるし、単純な作業を何億回繰り返そうと平気である。安全性という意味でも問題ない。これにより、20 世紀後半以降、学問の新たなパラダイムが開拓されてきており、コンピュータシミュレーションは理論、実験と並ぶ、現代物理学の大きな柱の一本となったといっても言い過ぎではないであろう。このような状況の中で新たな学問パラダイムの基礎にあるコンピュータシミュレーションが教育の中に取り入れられていくのは、ある意味、必然である [2]。

コンピュータの普及と共に数値シミュレーションを行

い、その結果を可視化するための環境は非常に使い易くなってきている。作成したコンテンツをさまざまな環境下で利用可能にするための配慮も十分にある。コンピュータシミュレーションは比較的容易に実施できるようになってきているが、授業担当者が手作りで全てを作成していくにはいくつかの敷居があり、コンピュータシミュレーションを物理教育の中でもっと手軽に利用できるような仕組みの構築が望まれている。以下では、コンピュータシミュレーションの教育効果について概観し、ここ数年 Web アプリケーション開発等の需要により普及してきた開発環境である Flash (Macromedia 社) 上の ActionScript によるシミュレーションについて報告する。また、開発支援の基盤環境として期待している Wiki を用いた教材開発支援について議論し、今後の計画について述べることとする。

2. シミュレーションの教育利用

シミュレーションは、どのような教育効果を上げることができるのであろうか。ここでは、概念把握のプロセスにおいてシミュレーションの果たす役割を概観し、シミュレーションの教育利用について議論する。

自然科学の諸分野では、仮説を定式化しモデルを組み立て、実験と観察を通して仮説を検証する中で自然の姿を探っていくというプロセスを通して、新しい概念が定着していく。シミュレーションは数値化されたモデルの振る舞いを計算し結果を可視化することで、モデルの基になった仮説について具体的な画像、映像を確認しながら検証し、その仮説の下で何が起こるのかを考察するための補助ツールとして機能する。また、モデルを記述するパラメータ、初期状態等を変更し、仮説を異なる方向から見直していくことで、仮説の意味についてより深い理解を得、習熟するための訓練ツールとしても機能する。図1に示す様に、このようなプロセスを繰り返す中で、より新たな概念を創造する力が身についていくと期待できる。

シミュレーション教材を利用した実際の教育過程について、その一例を示しておく。教材について検討する前に、教育の目的、学習者のレベルに合わせ教育目標を明確に設定しておく。具体的な教育目標の下、どの部分でシミュレーションを利用するのが効果的であるかを吟味するに際しては、概念定着プロセスを考慮し

- 可視化による理解
- パラメータ操作による習熟

の2つを中心に考えていき、教材等の選択、選定を進める。教材の利用にあたっては、ワークシート等を配布し、授業前であればシミュレーションのいろいろな振る舞いを観察させる、授業後はパラメータ等を変更

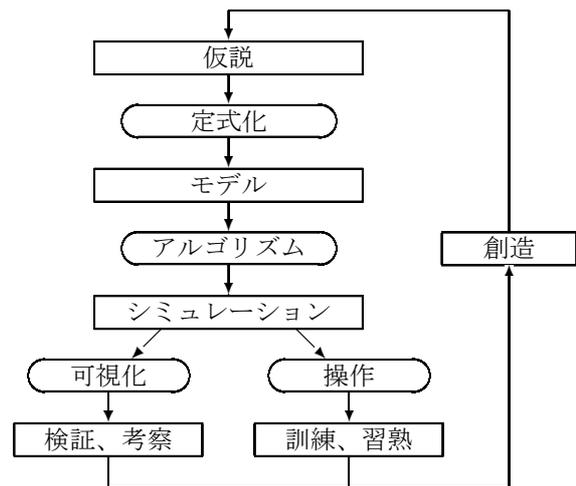


図-1 シミュレーションによる概念定着プロセス

しながらどうしてそういった振る舞いになるのか考えながら観察するといった形で概念の習得を促す。

ところで、実験を行うことで、より自然な形で新しい概念について学習し同様の教育効果を上げる事が可能である。しかしながら、表1に示すように、全ての実験が教室で可能なわけでは無いし、実験を実施するために特別な施設、資格が必要な場合もある。防災、危機管理等に十分な配慮と準備が必要である等、考慮しなくてはならない事柄も多く、実施できる実験は限られたものになる。

表-1 実験とシミュレーションの教育効果の比較

シミュレーション	大規模な実験
仮想的な体験	現実を体験
教室内で実施可	特別な環境、資格
汎用な環境	実験毎の設備
安全	防災、危機管理
理想的なモデル	現実の環境
容易な可視化	仮説と現実の関係
全パラメータ操作可	パラメータ操作に制限

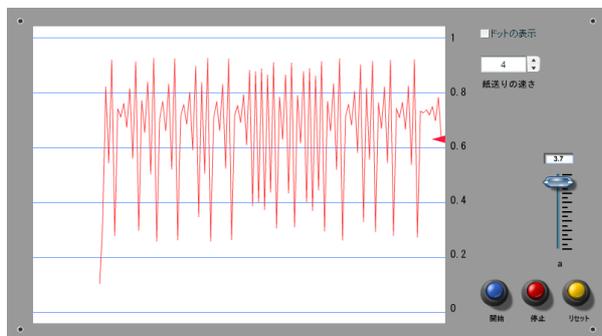
シミュレーションを有効に活用することで、実験では実現の難しい体験ができ、理論的な説明だけでは把握の難しい概念の習熟、習得を支援することが可能になる。また、シミュレーションの視点を変えたりインタフェースを工夫することで、学習意欲を高めたり、個々の予備知識、スタイルに合わせた学習が可能になる等の利点もある。ただし、操作に応じた動きのテンポによっては学生が画面の変化そのものに集中してしまい、表現した現象について思考を巡らせることができなく

なる、現実との関係が希薄になる等の弊害も考えられるため、利用には十分な注意が必要である。

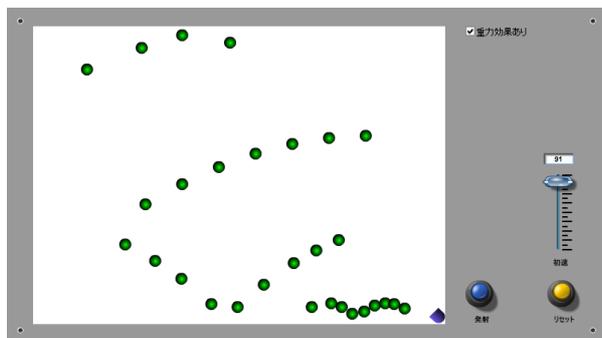
3. ActionScript 教材

シミュレーションを物理教育に利用する試みは、教育現場にコンピュータが入ってくるのと期を同じくして始められた [3], [4]。当時は、プログラミングを教える事から授業を始めなくてはならなかったが、今では、Mathematica のような数式処理環境を利用することでテキストに出てくる方程式をそのままの表式で入力して解の振る舞いをグラフやアニメーションにして見ることもできるし、Flash 等を利用して適当な教材をあらかじめ用意することでプログラミングを習得することなくシミュレーションを実行することが可能である。

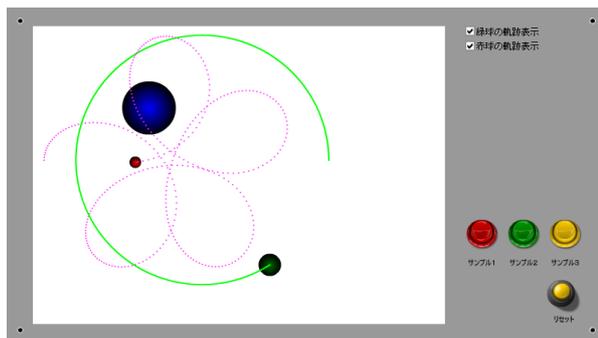
ここでは、Web アプリケーション環境として広く普及しており、多くの教室環境で実施可能な Flash 上の ActionScript を用いた教材について紹介する [5]。Flash は、描画環境とプログラミング環境を兼ね備えたアプリケーションで、シミュレーションを実施し結果を可視化するために必要な機能のほとんどを備えている。また、Web アプリケーション開発環境として成熟段階にあり、操作性も良く、多様なレベルと目的に合わせた参考書もあり [6],[7]、開発者の育成も容易である。e-learning 教材の国際標準規格である SCORM 対応といった利点もある。



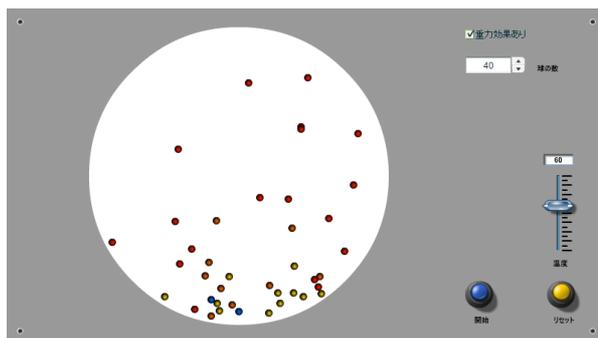
(1) パラメータに応じた2次元グラフの描画



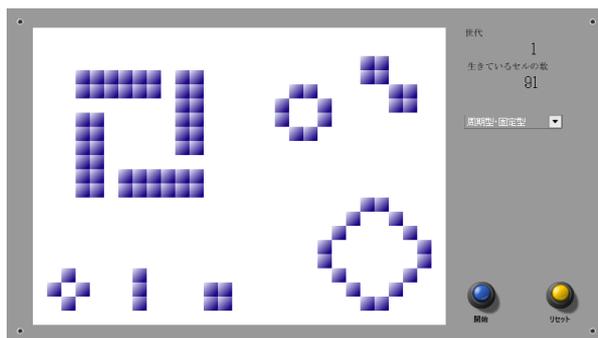
(2) 初速に応じた重力中での粒子の運動



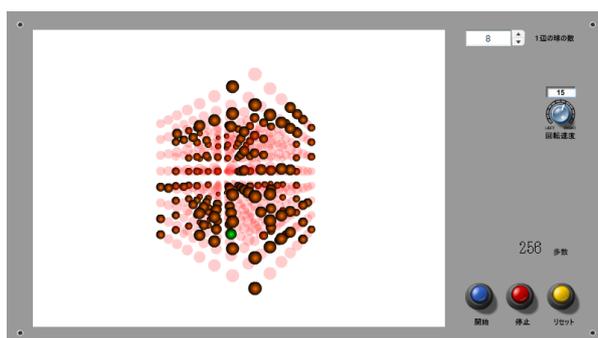
(3) 3体問題の複雑な振る舞い



(4) 外壁の温度に応じた粒子の運動



(5) ライフゲーム



(6) 3次元酔歩運動

図-2 物理教材例

図2は、ActionScript を利用して作成した教材例である。実際の教材は、<http://www.riise.hiroshima-u.ac.jp/ePhysics/> 及び、ここからリンクした教材開発支援サイトで公開しているので、こちらも馳せて参照して欲しい。

4. 教材開発

教材は、教育効果を考えた適切な可視化と、パラメータ操作のためのインタフェースを備えたものでなくてはならない。このような教材の開発には、効率的な数値計算を行うための数値解析とプログラミングの能力、分かりやすい可視化を行うためのプレゼンテーションに関する技能、教育的なインターフェイスをデザインするための知識等、多くのスキルが必要になる。このため、教官が単独で高品質な教材開発を行おうとすると多くの時間を費やすことになる。一方で、Flashのようなアプリケーション環境は成熟段階にあり、手軽に教材開発に取り組むことが可能であり、開発者の育成も容易になってきている。

本研究開発では、効率的に教材を開発していくため、簡単なプログラミングと学部レベルの物理に関する知識のある大学院生3名に開発の一部をお願いしている。開発は、ActionScript 利用に関する数時間の講習を行った後、簡単な教材例をいくつか作成してみることから始めた。今回の場合、およそ一ヶ月で新たな教材開発を開始するまでに至っている。開発する教材は、毎週1時間程度、教員と学生が集まって議論する中で決定し、プログラミング等の作業は各自のパソコン上で進めてもらった。教材開発作業のサポートは、自由にページの新規作成、書き込み、ファイルのアップロードが可能な Wiki サイトを立ち上げ、オンラインで行った。ここで、各自が作成したプログラム、プログラミング上のチップス等を書き込み、参照しながら、教材開発コラボレーションを進めた。全ての開発者がサイトを構成していくという雰囲気が、可視性と操作性に優れた教材開発、より便利なサイト構成と支援情報の充実の動機を高めていると考えている。

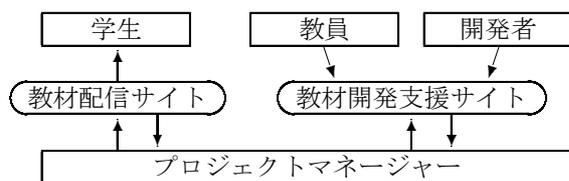


図-3 教材開発コラボレーションと Web サイト

これと並列して、図3の様な形で学習者に教材を配信するサイトを別途用意している。プロジェクトマネージャーが、図中の教材開発支援サイトにアップロードされた教材の中からあるレベルまで達した教材を選定しフォーマット等を整えた上で教材を配信サイトに掲載することで、品質管理を行うのである。サイトに掲載された教材は、広島大学の授業、及び大島商船高専での実験授業で利用し、アンケート調査を行い学習者

の声を反映させる形でフィードバックをかけ、バージョンアップし完成度を高めている。

5. まとめ

本論では、コンピュータシミュレーションの教育効果について概観し、可視化と操作性に配慮した形で開発を進めてきた ActionScript 教材を紹介した。また、教材開発プロジェクトと支援サイトの構成について議論した。ここでは、ActionScript 教材とその開発について紹介したが、物理教育に活用できるアプリケーションには、いろいろな特徴を備えたものがある。特に、3次元表現、式変形の表現には、他のアプリケーションを組み合わせることで、より効果的な教材が容易に作成できる場合もある。気軽な教材利用に向け、各種アプリケーションに関する情報の収集、このためのコミュニティ形成が重要になってきている。

現在、多くの大学、機関で教材開発プロジェクトが立ち上がっており、マルチメディア教材の開発が進められている。各プロジェクト間で連携し、教材開発、開発支援に関するアイデアを集め、より良い教材開発環境を築き上げようという動きもある [8]。今後は、このような動きの中で、教材開発コミュニティ形成に向けた活動を行い、物理教育教材がいろいろなところで気軽に利用できる環境の構築を計画している。

謝辞: 本研究は、文部科学省科学研究費補助金、特定領域研究「新世紀型理数科系教育の展開研究」の補助の下で実施しました。

参考文献

- 1) Bork, A. :21世紀に向けた学校教育とコンピュータ, (塚本榮一訳), 丸善株式会社, 1991
- 2) 和田正信 :コンピュータ物理の功罪, 共立出版, 1994
- 3) 三島信 :マイコン物理, 共立出版, 1981
- 4) 平田邦男 :BASICによる物理, 共立出版, 1983
- 5) 稲垣知宏, 太田朱美, 隅谷孝洋, 長登康, 中村純, 平方正樹, 福永優 :ActionScript を用いたシミュレーション教材開発, 第2回日本 WebCT ユーザカンファレンス予稿集, pp31-35, 2004
- 6) Moock, C. :ActionScript, Vol.1, Vol.2, (大羽正律, 若松憲治共訳), オライリージャパン, 2003
- 7) 野中文雄 :オブジェクト指向で考える ActionScript, セレブディップ社, 2003
- 8) 山田恒夫 :デジタル教材の共有・再利用と品質保証, 第2回日本 WebCT ユーザカンファレンス予稿集, pp23-28, 2004