

# シミュレーション物理教材「ePhysics」を用いた実験授業

佐々井 祐二<sup>(a)</sup>, 稲垣 知宏\*, 中村 純\*, 林 雅子\*, 長登 康\*, 隅谷 孝洋\*, 深澤 謙次<sup>†</sup>

津山工業高等専門学校, \*広島大学, <sup>†</sup>呉工業高等専門学校

sasai@tsuyama-ct.ac.jp

**概要:** シミュレーションを可能とする電子教材は, 学習者の基礎概念把握や興味喚起に効果的であると期待されている。自然科学の学問体系としては理論と実験に加え, 近年のIT基盤の整備と共にシミュレーションも重要な手法となってきた。学習者はシミュレーションによりユビキタスでオンデマンドに自然科学現象を繰り返し確認することが可能である。我々は物理を中心とした数理科学の電子教材「ePhysics」のWebサイトを立ち上げ, 内容の充実を図っている。本発表では, 2月に大島商船高専と呉高専の5クラスに対して実施した「ePhysics」の実験授業の様子と学生の反応, また, 高専の授業における「ePhysics」利用の可能性について報告する。

## 1 はじめに

数理科学において, その現象の理論的な意味の理解と共に, 実験により考察を深めることが重要である。実際に実験を行うことがベストではあるが, いつでもどこでも気軽にできるというわけではない。そこで, 実験の代わり, あるいは追加確認のために幾つかの手段がある。まず, 教師の収録あるいは市販のビデオ教材を見せることは安全で手軽な手段であり, 教育効果も高いと思われるが, そのビデオ内容を越えるパラメータを用いた確認や考察はできない。別の手段として, 近年の急速な性能向上と低価格化が著しいPC上で現象のシミュレーションを行う電子教材の活用が考えられる。見るだけのビデオ教材と違い, シミュレーション電子教材は, 見ることの他に, 操作する, プログラム作成をすることにより, 現象のより深い理解につながると考えられる。

望ましく, 使えるシミュレーション教材の特徴として以下のことが考えられる。

1. **オンデマンド:** もちろん電子教材の完成度によるが, パラメータを変更して何度でもシミュレーションできる。また, 自分で簡単なプログラムを補完・追加する機能があれば, 学習者のより深い理解につながる。
2. **自学自習が可能:** ある意味でシミュレーションは実験の代わりであるが, 加えて理論の学習機能, テストと採点機能があれば望ましい。イメージとしては, 市販のTOEIC対策用のような電子教材にシミュレーション機能が付加されたものである。

3. **ユビキタス:** サーバ上に蓄積された電子コンテンツにアクセスできるインターネットにつながっている端末PCであれば, いつでも, どこでも, だれでも学習ができる。

4. **自由な教材内容:** シミュレーションでは, 通常の高校, 高専などで扱うことの難しい原子核実験など, 理論的に説明の付くものであれば基本的に何でも電子教材化できる。高校, 高専のレベルを越えるが, 巨大科学においても宇宙初期や中性子星内部のように実際の実験でなかなか対応できないエネルギーレベルでは計算機シミュレーションが唯一の実験方法となる。

5. **安価なコンテンツサイト構築費用:** やり方次第ではあるが, 市販のeラーニングサーバプログラムを用いなくても, FlashのActionScriptやJavaを用いれば, 時間を掛けて努力すれば, 比較的安価にコンテンツサイトを構築できる。

以下, 2月に大島商船高専の3クラスと呉工業高専の2クラスに対して実施した電子教材「ePhysics」[1]~[3]の実験授業の様子と学生の反応について報告する。また, 良いコンテンツであっても実際に教育現場で利用するには課題もあり, 工夫が必要である。そこで, 高専における「ePhysics」の利用の可能性についても考察する。

## 2 「ePhysics」を用いた実験授業

### 2.1 「ePhysics」と実験授業の目的

電子教材「ePhysics」は高校あるいは高専レベルの物理学習者が, 計算機シミュレーションを利用することで, 物理学の面白さに気付き, 物理の

(a) 4月1日 大島商船高等専門学校より移動

考え方に基づいて自然現象を考えるようになることを目標としている。また、実際に体験することの困難な状況、モデル化された系の振る舞いを計算機シミュレーションで視覚的にとらえる中で、自然科学の概念について具体的なイメージを描きながら学習することを目標としている。

実験授業では「ePhysics」を授業に用いた場合の学習効果、興味付け効果、学習者の様子と反応を探り、教材と授業方法の問題点と改善点を調査することを目的としている。そのために、実験授業の事前と事後のアンケートを採った。なお、今回の実験授業のテーマは「複雑系」であった。

## 2.2 実験授業の実施方法

2006年2月、大島商船高専3クラス、呉工業高専2クラス、計5クラスに対して、実験授業を実施した。学科・学年構成は大島商船高専が電子機械工学科3年生の1クラス、情報工学科3年生と4年生の2クラス、呉工業高専は機械工学科4年生の1クラス、電気情報工学科4年生の1クラスであった。高専教員は実験授業のコーディネートを担当し、授業時間と会場（それぞれの高専の情報センター演習室）確保と学生への連絡、事前アンケート実施を担当した。授業は最先端での研究の現場の様子まで伝えられるよう大学の教員が担当し、インターネット経由で「ePhysics」サイトの教材を利用する形で進めた。高専側の事情もあり、それぞれのクラスに対しての実験授業時間は50分間で、最初の25分程度は複雑系に関する講義を行い、次の20分程度で「ePhysics」教材を用いた実習を行った。残りの時間で事後のアンケートを採った。また、大島商船高専では実験授業終了後、希望者対象の大学院生による「Flash ActionScript 入門」も開催した所、好評であった。

## 2.3 実験授業の内容

演習室におけるプロジェクターを用いた講義では、「複雑な振る舞いをするものも、要素は単純かもしれない」という「複雑系」の考え方を学生に理解させるため、以下の簡単なモデルを説明した。

- ・ 山の熊の生息数
- ・ ローレンツモデル
- ・ 3つのニューロンからなる脳
- ・ ライフゲーム

「ePhysics」教材を用いた実習のテーマとしては「ライフゲーム」を取り扱った。「ライフゲーム」

は1970年にイギリスの数学者ジョン・ホートン・コンウェイによって考案された、カビ、動物の群れ、細胞などの、非常に単純なルールで複雑な振る舞いを再現するシミュレーションモデルである。同年、マーチン・ガードナーにより紹介されたことにより、大きな反響を呼んだ。

ルールは「自分が生きている場合、自分を囲む8個のセルのうち2個もしくは、3個が生きている場合のみ生き残る。自分が死んでいる場合は、自分を囲む8個のセルのうち、3個が生きている場合のみ新たに誕生する」である。

実習では「ePhysics」サイトからインターネット経由で図1に示す「ライフゲーム」教材を使用した。操作画面では、手動、ランダム、周期型・固定型、グライダー・イーター、サンプル3個を選択し、簡単なルールから複雑なセルパターンが生成される様子を繰り返し確認できる。学生はゲーム感覚で操作に没頭し、かなり複雑なパターンを作成する者もいた。この教材を使うことにより「複雑系」のイメージを掴んだ学生も多くいたようである。

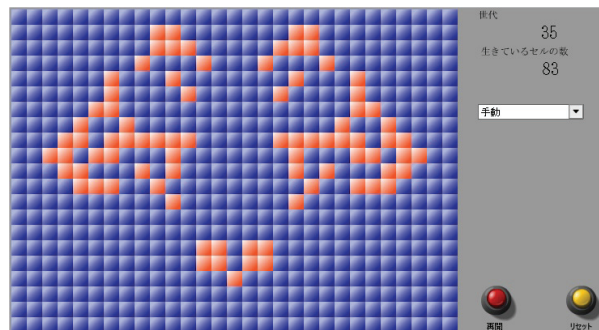


図1 「ライフゲーム」操作画面

## 2.4 事前アンケート

実験授業の時間が50分と短いため、休み時間などを利用して事前アンケートを採った。図を除き、質問内容とその回答を紹介する。ほとんどの項目で学校・学科・学年による差は目立たないようである。なお、クラスをA～Eで表示し、回答者数は190名である。また、回答の割合は小数第1位を四捨五入しているため、合計して100%に一致しない箇所がある。

1. ある動物の個体数がグラフの様な経年変化をしていました。10年度の個体数はどの程度になると思いますか。そう思う理由も書いてください。

表 1 事前アンケート設問 1 の回答

	A	B	C	D	E	計
分からない	5%	0%	3%	3%	0%	2%
増える	2%	2%	0%	3%	5%	3%
減る	28%	36%	32%	30%	5%	26%
周期的なので(減る)	51%	62%	59%	60%	90%	65%
その他	2%	0%	0%	0%	0%	1%
無回答	12%	0%	6%	3%	0%	4%

2. 空間をマス目状に区切り、それぞれのマスは生きているか死んでいるかのいずれかの状態になっていると考えます。各マスの状態は与えられた規則に沿って変化するとします。○のマスが生きているマスとして、それぞれどのような状態に変わるでしょう。

表 2 事前アンケート設問 2 の回答

	A	B	C	D	E	計
3問正解	30%	29%	24%	70%	78%	45%
2問正解	12%	21%	18%	20%	10%	16%
1問正解	28%	7%	18%	3%	5%	13%
正解なし	30%	43%	41%	7%	7%	26%

3. 複雑系と聞いてどんな内容だと思いますか。

表 3 事前アンケート設問 3 の回答

	A	B	C	D	E	計
分からない	5%	5%	3%	0%	2%	3%
難しい	2%	20%	15%	13%	12%	12%
複雑	25%	48%	44%	33%	27%	35%
公式を沢山使う	0%	0%	0%	10%	15%	5%
その他	42%	14%	18%	33%	41%	30%
無回答	26%	14%	21%	10%	2%	15%

4. 物理に関して理解するのが難しいと感じている事柄があれば挙げてください。

力学、電磁気学、熱力学などの教科名、角速度、慣性モーメントなどの具体的な事柄の回答があった。また、公式の多さ、微分方程式など使用する数学的手段、正解に達するまでの途中計算、教員の教授法により理解が難しいとする回答もあった。特徴的な意見としては、「実際に物理現象を目にすれば分かるのだが、目で確認できない概念が多い」がほとんどのクラスであった。考えられさせられる意見である。

## 2.5 事後アンケート

実験授業終了時に設問数 7 題の事後アンケートを採った。ここでは、主な設問とその回答を紹介する。回答者数は 190 名である。

1. 複雑系を考慮すると、あなたが事前アンケート 1 で答えた 10 年度の個体数に関する解答は変わりそうですか？変わると思う場合、どのように変わるとお考えですか。

表 4 事後アンケート設問 1 の回答

	A	B	C	D	E	計
変わった	26%	21%	20%	20%	35%	25%
変わらない	61%	57%	71%	57%	60%	61%
その他	13%	19%	9%	23%	5%	14%
無回答	0%	2%	0%	0%	0%	1%

2. ライフゲームから複雑系のどのような特徴が分かると思いますか？

理解した複雑系の特徴を記述した学生も多かったが、設問の意図とは異なり、「複雑系の特徴が分かった気がするか／分からないか」について回答したクラスもあったので、そのように結果を掲載する。

表 5 事後アンケート設問 2 の回答

	A	B	C	D	E	計
分かった	21%	13%	43%	10%	33%	24%
分からない	76%	60%	46%	73%	63%	63%
無回答	2%	28%	11%	17%	5%	13%

3. ライフゲームを応用してゲームを作成するとします。ゲームの終了、及び終了時の勝敗をどういった条件で決めるのが良いと思いますか？

表 6 事後アンケート設問 3 の回答

	A	B	C	D	E	計
分かった	21%	20%	34%	40%	13%	24%
分からない	55%	38%	49%	43%	68%	51%
その他	10%	40%	9%	13%	18%	19%
無回答	14%	2%	9%	3%	3%	6%

ここで、何らかの条件を記入している回答を「分かった」としている。具体的な意見としては「ゲームの終了：個体全滅、あるいは特定値の到達。勝敗：(片方が全滅の場合) 長く生き残った方。(両者が無限ループになった場合) 個体数の多い方」「まず何世代まで続けるかを決めて、最初に決めた世代になったときに生き残っている数が一定数以上なら勝ち、以下なら負けとすればよいと思う」



「目的の形を予め提示しておいて、指定された個数だけを選択できるようにしておく。指定された個数だけ選択して、目的の形にすることができればクリア」などがあつた。

4. 分かりやすい電子教材が欲しいと思う事柄があれば挙げてください。

具体的な事柄に言及した回答は少なかったが、「物理の問題などで、実際どうなるかシミュレートできるとわかりやすくなると思う」という意見があつた。

5. 本日の実験授業に関する意見、感想等、何でも記入してください。

表 7 事後アンケート設問 5 の回答

	A	B	C	D	E	計
面白かった。分かりやすい	58%	45%	66%	43%	53%	53%
時間が足りない。分からない	24%	17%	14%	3%	0%	12%
その他	0%	0%	0%	0%	15%	3%
無回答	18%	38%	20%	53%	33%	32%

意見、感想も多様なため、ここでは、肯定的な意見と否定的な意見に分類している。「ライフゲームが面白かった」という回答が多かったが、特徴的な意見としては、「物理は公式ばかりだから嫌いだと思っていたけど、動きのモデルをきちんと目で確認できたので、少し身近に感じた」「こういったゲーム形式にすることは、その分野の学習に興味を持ちやすく面白いので非常に効果的だと思った」などの興味付けについての意見や、「もう少しライフゲームをいじる時間が欲しかったです」などの授業構成についての意見もあつた。

### 3 「ePhysics」の高専での利用

JABEE の関係もあり、現在は高専においてもシラバスに沿って授業を進める必要がある。大島商船高専では 3 回目、呉高専では 2 回目となる実験授業は、予定より進度が捗った、あるいは複数クラスの進捗の関係で実験授業として提供頂ける時間を利用することで実現できた。

教育現場から「ePhysics」を利用して授業をすることを考えた場合、以下のような考慮すべき課題が考えられる。

1. インフラの問題：高専の情報センター演習室

では学生数分の端末 PC は利用できる。また、実験室の他に大半の通常教室でも LAN の他にプロジェクターも装備されているので、演示用に「ePhysics」を利用することができる。しかし、学生用に端末 PC を通常教室で利用できるわけではないから、現在は実習をさせることはできない。

2. カリキュラムの問題：「ePhysics」を宿題、演示用としてであれば、現在のままでも利用が可能である。定期的な実習用、あるいは半期分程度の「ePhysics」を教材とした授業・実習を実施するためには予めそのようにカリキュラムと実習場所を準備しておく必要がある。

### 4 まとめと今後の課題

抽象的な概念である複雑系について、電子教材「ePhysics」を利用した実験授業の報告をした。「複雑系」が実は単純なルールから再現できるという簡単な例からスタートして、「複雑系」の概念を学習し、さらに「ePhysics」を用いて体感するという形で実施した。50 分授業としては内容が多く、講師の大学教員、コーディネーターの高専教員共に、時間配分に苦勞することとなり、実習時間不足で学生にやや不満を残す結果となった。今後の実験授業としては、可能であれば 90 分あるいは 100 分程度の時間で実施することが望ましい。

「ePhysics」は事前アンケートにあつた意見「実際に物理現象を目にすれば分かるのだが、目で確認できない概念が多い」に対応できると考えられる。今後の課題としては、高専、高校での実際の活用を目指したコンテンツ作成、教科書・小テスト機能、カリキュラム案作成がある。

なお、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] 稲垣知宏, 太田朱美, 佐々井祐二, 隅谷孝洋, 長登康, 中村純, 平方正樹, 福永優, 「シミュレーションを用いた物理教育」, 計算工学会講演会論文集 Vol.9, 721-724 (2004).
- [2] 稲垣知宏, 佐々井祐二, 隅谷孝洋, 長登康, 中村純, 服部雄, 林雅子, 深澤謙次, 福永優, 藤原隆浩, 「ActionScript を用いたマルチメディア教材開発」, 平成 17 年度情報処理教育研究集会講演予稿集, 163-166 (2005).
- [3] <http://www.riise.hiroshima-u.ac.jp/ePhysics/>