

Webを用いた統計物理学のコンピュータによる教育支援

Educational Effect from Web Support in the Statistical Thermal Physics

鈴木潔光 戸塚英臣 石原美由紀 住本千香 山崎幸子
日本大学理工学部

〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8
TEL 03-3259-0556 FAX 03-3295-5138
E-mail:ksuzuki@phys.cst.nihon-u.ac.jp

Abstract: Constructing a database of Web lectures as a common property is the purpose of Cyber Campus Consortium (CCC) project. Besides this purpose, Web contents for students' self study should be naturally added to CCC project as well, but we find several problems to be solved. In this report, we study the issue in Web page creating and its educational effect in statistical thermal physics. Following issues are examined in this report: First, what contents size can be possibly added to the present network capacity? Secondly, how much time and effort should we devote to contents development? And lastly, how effective would it be the Web database for education? We also developed a Monte Carlo simulation program to solve the 6-energy-level problem. In this simulation, the change of entropy and the particle number in each energy level, as the system approaches to thermal equilibrium state, have been visualized. Educational effects of the 6-energy-level simulation have been examined in the case of Web lecture.
Keywords: Statistical Thermal Physics, 6-energy-level problem, Entropy, Web support, Cyber Campus Consortium

1. はじめに

米国マサチューセッツ工科大学では、10年間で2,000を超える講義をWeb上に無料掲載することを発表した。また社団法人私立大学情報教育協会でも、サイバー・キャンパス・コンソーシアム(CCC)計画を通じ、Web上に授業のコンテンツを掲載して、その財産を大学間で積極的に共用しようという計画が本格的に進展しつつある。米国におけるWeb支援は「学問を教えるのではなく、積極的に学びたいという意欲をおこさせるような教材を用意する」ことが目的とされているようである^[1]。確かにそのような教材を用意できる科目もあると思われる。しかし、中には基礎物理のように、手計算により解析解を求めたり、漸近形を求める等、学生が積極的にWebを利用して学習するのに適した教材を作成しにくい科目があると思われる。筆者らはこういった科目の代表として統計物理学を選び、そのコンテンツをWebに掲載し、学生の教育支援をすることを実験的に試みてみた。また、米国ではWeb作成に関する技術スタッフが充実しているが、日本(少なくとも本学)ではスタッフは皆無に近いのが現状である。このような現状の下でコンテンツを作成するには、自分自身で労力をかけるか、あるいは業者等に依頼することになる。しかし、コンテンツを作成したい講師自身がWeb作成の技術がない場合、後者を選ぶ以外に方法はない。この場合資金が発生することは言うまでもないが、いったいいくらかかるのか? 特に理系基礎科目の場合、特殊記号が頻繁に現れ、デジタル化が容易でないばかりではなく、その科目に学習経験がない作成者には、デジタル化自体できない可能性すらある。そこで、今回のコンテンツ作成では、作成者に対して講義の内容に関する修正以外の技術的助言は一切行わないよう留意した。これによって、Webページを作成する技術がない教員がコンテンツを作成する際の問題点を洗い出すことができる。

すなわち、このWeb作成および教育支援実験の目的は、現状のネットワークで、どの程度のコンテンツ(特に画像・音声データ)を掲載することができるのか?

Kiyomitsu Suzuki, Hideomi Totsuka, Miyuki Ishihara, Chika Sumimoto and Sachiko Yamazaki
Nihon University

コンテンツ作成に、どのくらいの手間(時間・作成者の能力・費用)がかかるのか?

実際の授業とデジタル化したコンテンツの質の均一化をするためにはどのような問題点があるのか?
どのような教材がWeb支援に効果的なのか?
実際にどのくらいの教育効果があるのか?

等である。

また、これとは別にエントロピーという量を視覚的に理解させるために、準位付き問題を表計算のマクロ機能を用いてシミュレーションする教材を作成した。この教材は、重率 W とエントロピー S の意味の理解等を目的として作成したものである。この教材に関する解説の授業もWeb上に公開し、さらに試験に出題する旨を学生に伝えた。

本論文ではこれらを総合的に分析し、Web作成の問題点および教育効果について報告する。

2. Webコンテンツの作成

Webコンテンツは、講義にアルバイト学生が出席してノートをとり、黒板のデジタル写真を撮影し、音声を録音し、後日ノートをデジタル化し、黒板の写真に合わせて音声を分割し、Webに掲載するという手順をとった。講師は通常通りの講義をすればよいので、これが一番容易にWebページを作成できる方法であろうと考えられる。対象とした講義は電子工学科に設置されている「統計熱力学」、受講者数は約20名であった。以下にコンテンツ作成に留意しなければならない点を列記する。

(1) 掲載可能なコンテンツ

最近のWeb支援では、画面をいくつかのフレームに分割し、講義の音声に合わせてそれぞれのフレームで、講師が講義をしている動画、ホワイトボードに書かれた文字の自動更新、プレゼンテーションソフトウェアにより作成されたスライド、等が掲載されるといった盛りだくさんの内容から構成されているものもある。しかし、今回Webに掲載したコンテンツは、デジタル化されたノート、黒板の写真、音声データに限定した(作成したWebページの一部を図1に示す)。これは統計物理学のような添え字の多い科目について、動画レベルで配信して読み取れるほどの大きなデータは現在のネットワークでは配信できないからである。また、デジタル化されたノー

トはA4版PDF形式10ポイント程度にまとめることにした。これはプレゼンテーションソフトウェアの形式にするよりも作成の手間が省け、学生もダウンロードするページを少なくすることができるからである。黒板に間違っていた内容を書いていた場合でも、訂正済みの(デジタル化された)ノートが掲載されていれば、支援の意味はかなりあると考えられる。

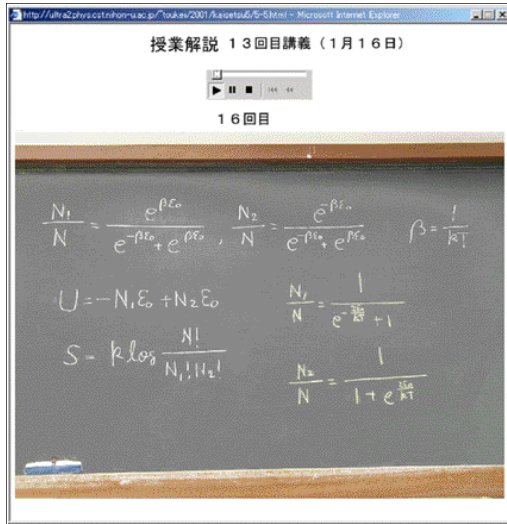


図1 作成されたWebページ^[2]
黒板のデジタル写真とともに講義の音声配信される。他に、ノートをダウンロードできるページがある。

(2) 作成者の能力

コンテンツの作成にはコンピュータに関する能力だけではなく、その分野の専門的な能力がないとノートを取ることすら困難になるため、誰にでもできるわけではないという問題点がある。また、講師が黒板に間違っていた内容を書いてしまった場合に、内容の間違いをある程度は指摘できる人材であることも重要な要素である。今回の講義のWebコンテンツ化に要した時間は、講義に出席する時間やトップページからのリンクページを作成する時間を除いても、講義1回あたり約12時間ほどであった。すなわち、一人のアルバイト学生が作成できるコンテンツは、1週間にせいぜい2科目であろうと考えられる。これを費用に換算すると、年間約100万円となる。もし業者に依頼すれば、この10倍は確実に必要であろう。ただし、科目の学習経験を考慮すると、コンテンツ作成にはかなりのスキルが必要である。ここで今回の支援に携わったアルバイト学生は、当時物理学科4年生約160名中成績上位5%以内、システムアドミニストレータ試験にも合格している大変に優秀な学生であったことを付け加えておく。

(3) Webコンテンツと実際の講義の質

講義では気にせず「この式」、「あれ」等代名詞を使うが、静止画像を配信するときにはこれらをなるべく言わないことが必要になる。また、黒板の文字がリアルタイムに更新されているのではないということはある程度は頭に入れておく必要もある。さらに講義の音声そのまま配信する場合、言い間違い等を修正することが困難であることもあげられる。すなわち、Web化することを十分認識して講義をしないと全く役に立たないWebページができ上がってしまうことになる。また、黒板のデジタル写真をそのままWeb化する場合、文字、特に細かい添え字や肩字を少なくとも読み取れる程度には丁寧に書くことも重要である。もし文字が読み取れないと、その部分もプレゼンテーションソフト等を用いてデジタル化しなくてはならないため、さらに手間を要することになる。しかし、反対に字が読み取れないような講師のノートこ

そWeb支援の必要性が高いことも確かである。ただし、教員自身が反対にもう一度講義を聴き直さざるを得ないことになり、講義終了後に間違いに気づくことができる可能性があるという利点もある。

(4) アンケート結果と教育効果

アンケート結果によると、試験を受験した13名全員がこのWebによる支援が役に立ったと回答している。一番多かった利用方法は、黒板の写し損ない、書き間違い等の確認、次いで聞き逃した部分の確認、講義の復習、と続いている。講義に出席せずWebコンテンツのみを利用して試験を受けた学生が2名ほどいたが、いつも出席した学生に比べると試験の得点は半分以下であった。すなわち講義の補助としての意義は大いに認められるが、Webコンテンツのみで学習するのは困難であることが示唆される。ただし、このWeb支援は昨年度から開始したこともあり、Webコンテンツのみで学習した受講生も少なかったため、今後さらに調査を継続する必要がある。教育効果については次章の準位つき問題を例にとって報告する。

3. 準位つき問題を用いた教育効果

今回作成した教材は、エントロピーという量を視覚的に理解させるために、”How to Teach Statistical Thermal Physics in an Introductory Physics Course”^[4]を参考にミクロカノニカルの方法による6準位問題を、表計算のマクロ機能を用いてシミュレーションするものである。上記文献ではJavaを用いてネットワーク上でシミュレーションを行っているが、今回の教材はプログラムの改良が比較的容易であること、また大学1年生の段階で、物理現象や数学の導入教育として表計算ソフトを利用していることもあって^{[4][5]}、学生の慣れ親しんだ表計算ソフトを用いることとした。

このシミュレーションの原理は100個程度の粒子をさいころの目に例えて、その目をエネルギー準位そのものとするものである。例えば粒子100個で、初期状態として1の目が80個、6の目が20個で他の目を持つさいころがないとすると、初期エネルギー E_{INT} は

$$E_{INT} = 1 \cdot 80 + 6 \cdot 20 = 200$$

となる。次に乱数を発生させて粒子を任意に一つ選択し、その後再び1~6の乱数を発生させ、選択したさいころのもとの目と交換する。ただし、でたらめに交換するとエネルギーが一定にならないので、新しいエネルギーが $E_{INT} = E_{INT} \pm 5$ の範囲内であれば交換し、そうでなければもとの目のままにする、といった操作をする。この操作を多数回繰り返すことにより、エントロピーに対応する量 $S = k \log W$ 、全エネルギー E および各準位の粒子の個数が自動的にグラフ化される。学生は単に、全粒子数 N (さいころの数)、励起状態の粒子数 (6の目の数) および計算回数 (さいころの目を交換する回数) だけを入力すればよい。図2に実際にシミュレーションで得られた粒子数の変化を、図3にエントロピーおよび全エネルギーの変化を表すグラフを示す。

この教材使用の目的は、重率 W とエントロピー S の意味が理解できたのかどうか? N が十分大きいとき、各準位の粒子数の漸近値がいくつになるか? 等が理解できたかを調査すること、講義の中で説明した2準位問題の各準位の粒子数およびエントロピーの低温・高温極限の結果を6準位問題に応用できたかどうか、を調査することにある。

これらを確かめるために、6準位問題教材のフロッピーディスクと解説プリントを配布し、レポートを提出させ、さらに定期試験を課した。

レポートの課題は、実際にシミュレーションを行わせただ後、

- 6準位問題における重率 W の意味を説明させる課題
- グラフ (図2 および 3) の考察をさせる課題

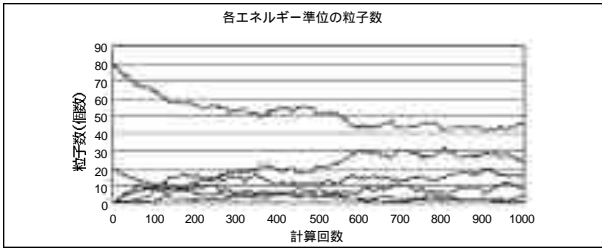


図2 6準位問題の各エネルギー準位の粒子数変化

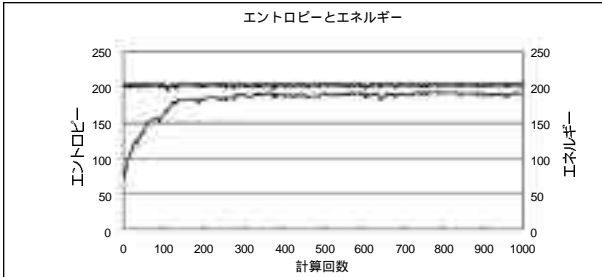


図3 6準位問題の全エネルギーとエントロピーの変化

エントロピーという量が理解できたのか？ できたと思った場合はその簡単な説明を、できなかったと思う場合は何がわからなかったかを記述させる課題

の3題を課した。 に関してはレポート提出者10人全員が説明できていた。重率については講義で重要であることを何度も強調していたので、定義式やその意味を理解していたようである。は説明不足の回答が目立っていた。すなわち、「グラフが一定値に近づいている」等、グラフの外見ばかり説明した回答が多く、なぜ一定値に近づいているかということと重率 W と結びつけて考察できているレポートはほとんどなかった。アンケートの中で最も着目されたのは、に対する回答である。レポート提出者10人のうち8人が理解できたと回答した。しかし「エントロピーとはどういう量か？」という説明に対する回答は、「無秩序性をあらわすものである」、「増大する」、「状態量であり、物体の量に比例する示量変数である」等、この教材を利用して理解したとは到底いえないと思われる内容が多く見られた。反対にエントロピーが理解できなかったと回答した学生(2名)は、わからなかった理由として「シミュレーションによりエントロピーは一定値に収束しているのはわかるが、エントロピーという物理量の定義やその概ねの考えがはっきり理解できなかった」と回答している。すなわち、この学生の方がグラフをじっくり読み取るうと苦心し、エントロピーという量を理解しようと努力した跡が見られたわけである。のようなレポート課題は、誘導方法によって学生が考察したりしなかつたりすると考えられるので、今後はこのように学生にじっくり考えさせるように教材を改良していきたいと考えている。

レポート提出直後の講義では、シミュレーションが多数回繰り返された後の、各準位に存在する粒子数の漸近値を数値的に求める方法を説明した。また同じ講義の中で、2準位問題の各準位に存在する粒子数およびエントロピーの高温・低温極限がいくつになるかを説明した。さらにその回の講義の内容が試験に重要であることを説明し、Webコンテンツを用いて復習するように伝えておいた。

定期試験には以下の3題を出題した。

6準位問題の重率とエントロピーの定義式を書かせる問題

図2で表される各エネルギー準位の粒子数の漸近値を見積もる方法を記述させる問題

6準位問題における粒子数およびエントロピーの高温・低温極限を記述させる問題

および はWeb(講義)と全く同一内容である。

の重率の定義式は受験者13名全員が正解、エントロピーの定義式も12名の学生が正解であった。Webコンテンツはかなりの学生が見ていたが(ログファイルにして約2MB)、残念ながらログからは個人の特定や、ファイルをダウンロードしてからどれくらい利用していたかを把握することができないため、何人の学生が何時間勉強していたのかは不明である。ただ、繰り返し学習した効果が出ていたことは間違いのないと思われる。しかし、を完全に解答できたのは13名中2名しかいなかった。これは漸近値を計算する方法を講義で説明しただけだったため、理解するまでには至らなかったのが原因であると考えられる。今後は自分でシミュレーションをさせ、理解を深めさせるような教材を作成したいと考えている。

の低温・高温極限については壊滅的な結果であった。低温・高温極限がすべて正解だった学生は全くおらず、反対に全部不正解であった学生が13名中6名もいた。講義では2準位問題についてしか説明しなかったため、このような結果になったと思われる。おそらく6準位問題の低温・高温極限を講義で説明していたら、もっとよい成績が得られたものと思われるが、学生に応用力(考える力)をつけさせることの難しさを改めて感じる結果であった。

4. まとめ

本論文では、統計物理学教育支援用Webページを作成し、作成上の問題点、学生のアンケート結果、効果的なコンテンツの検討および教育効果の測定結果を報告した。Webページ作成に関しては、最も容易にコンテンツを作成する方法として、講義そのものをWebコンテンツにする方法をとった。この研究でいくつかの注意すべき点が洗い出されたが、把握しておくべき最低限のガイドラインは設定することができたのではないかと考えている。このWebページに関する学生のアンケート結果は肯定的な意見ばかりであった。しかし、ほとんどは普段授業に出席している学生が、復習に利用するのに効果的だったという評価である。Webコンテンツだけの学習で教育効果が上がりにくかったことはマイナスの要素である。ただし、Webコンテンツだけで学習した学生が非常に少なかったため、Webページの改善とあわせて今後調査を継続していきたいと考えている。6準位問題シミュレーション教材による教育支援では、グラフや物理量の意味を学生にじっくり考えさせるように教材を作成することの重要性が感じられた。また、この6準位問題教材のWeb支援に関しては、成功したところと失敗したところが両極端の結論となった。すなわち講義で説明されたままの問題に関しては支援の効果がかなり高かったが、講義の内容より少し応用しなければならぬ問題に関しての支援効果はあまり高くはなかった。応用力をつけさせるようなコンテンツの作成が必要であるが、これは永遠の課題とも言うべき難題であろう。

CCC計画に伴い、今後ますますWebコンテンツの充実を図らなければならないことは事実であるが、常に教育効果の測定を行う必要性が感じられた。学生の弱点がわかった後、それを克服させる方策の検討はさらに重要な課題である。

参考文献および関連URL

- [1] 社団法人私立大学情報教育協会: 第1回日米大学マルチメディア教育セミナー報告書, 2001.
- [2] <http://ultra2.phys.cst.nihon-u.ac.jp/>
- [3] Koo-Chul Lee: How to Teach Statistical Thermal Physics in an Introductory Physics Course. American Journal of Physics 69, pp.68-77, 2000.
- [4] 鈴木潔光, 深井那奈, 藤野陽子: 新入生のグラフを読み取る能力. 大学の物理教育 19, pp.42-44, 1998.
- [5] 石原美由紀, 戸塚英臣, 鈴木潔光: 新入生のカオス・モンテカルロ法に関する授業の理解度. 大学の物理教育 29, pp.40-44, 2002.