

物理学学生実験のためのWWWによる予習システムの構築と評価

谷 山 健 治*・三 仲 啓**

(2001年10月15日 受理)

Construction and Evaluation of Web-based Preparation System for Student Experiments on Physics

TANIYAMA Kenji · MINAKA Akira

1. はじめに

World Wide Web (WWW) 利用の教育システムには、

- (1) 操作が容易で、マウスとキーボードの使い方を知っておればすぐ利用できる
- (2) テキスト以外に、カラー画像、動画、音声、3D表現などを使用した教材が作成できる
- (3) ハイパーリンクにより学習者の到達度や興味関心に応じた教材が作成できる
- (4) 高価なソフトは不要で、パーソナルコンピュータの標準的な環境で利用できる
- (5) 教材作成も比較的容易である

などの特長があり、学校教育、企業内教育を問わず広く用いられている。(1)～(3)はコンピュータを利用した教育システムに共通した特長であるが、(4), (5)はWWWシステムの特長といってよい。近年ではデータベースやマルチメディアソフトなど、あらゆる形態の資源がWWWから利用できるため、教育用システムでもWWWを利用したものが大半を占めるようになってきている。

筆者等も教育学部の学生を対象としてWWW利用の物理学実験予習システムを構築し使用している。¹⁾本稿では、そのシステムの過去2年間の運用結果を報告し、その評価を通して、同種システムの効果と現実的な設計の要点をまとめることにする。

次章では構築したシステムの設計方針と利用者から見たページの概要を示し、3章では運用の結果得られた知見とシステムの改善点を整理する。最後の4章では、結論と今後の方針をまとめる。

*隼人町立隼人中学校

**鹿児島大学教育学部理科教育（物理）

2. システムについて

2.1 学生実験のための補助教育システム

物理学の学生実験のために予備知識を提供したり、理解を深めたりするためのWWW利用の教材としては以下のようなものが考えられる。

(1) カラー画像、GIFアニメーション、動画を利用し、実験の原理を分かりやすく解説する。

印刷物では多数の図に分けて表現せざるを得ないものでも、Webページではカラーや動画によりわかりやすく表示できる。特に、GIFアニメーションは図説や概念形成補助に有効で、作成の労力も少ないため利用例も多い。²⁾

(2) ハイパーテキストにより関連情報を提供する。

基本的なテキストの他に、学習者の理解度や好みに応じた追加説明を与えることができる。実験に関連した科学史を紹介する例もある。³⁾

(3) JavaScriptやJava Appletによるプログラムを利用する。

JavaScriptではドリル型の問題が容易に作成できる。⁴⁾またJavaScriptのウインドウ操作機能はWWW上のソフトには欠かせない機能である。Java Appletでは、さらにグラフィックも使用できるのでシミュレーションプログラムが作成できる。多数の物理教育用のAppletが公開されているが、実験補助専用のものは少ないようである。実験補助用にはGIFアニメーションやビデオ画像で用が足りるためと考えられる。

(4) メールや掲示板を質問・回答システムやレポート提出手段として利用する。

一般的にはよく利用される形態であるが、物理学実験では数式やグラフなどを多用するので、やや使いにくい場合が多い。

(5) データベースと連携して利用する。

近年ではWWWページからデータベースを利用するのも容易になっている。特別なソフトも不要であり、プログラムも簡単に書ける。問題や学習者の回答結果をデータベースに記録し、分析するのが典型的な利用法かもしれないが、実験項目や実験予定表を含む単純なWWWページを作成するだけであってもデータベースは有効である。

次節では、本学部の物理学実験の実状に合わせて、どのようなシステムを構築するのが有効であるかを考察し、その際に上記のどのような機能を利用するかについても触ることにする。

2.2 今回想定した利用形態とシステム設計

(1) 実験の形態と予習システムの目的

本学部で行っている物理学実験の大部分は、2～3名からなるグループがローテーション方式で10数種類の実験を行う形式である。化学実験などと異なり、同じ実験器具を多数準備することや実験のための空間を確保することが困難なため、本学部に限らず物理学実験はローテーション方式で行っているところが多い。そのため、毎回多数の実験が並行して行われることになり、実験の前に

注意事項をまとめて説明する時間がとれない。

本学部の物理学実験では、最初の時間までに印刷したテキストと実験予定表を配布しており、次回の実験に備えて予習ができる状態にはなっている。しかし、実際には全く予習をせず、実験の時間に初めてテキストを読みながら操作をする者も多く、これが実験の目的を見失ったり誤操作をしたりする原因になっている。

そこで、実験前に一度はテキストに目を通す機会を作ることを第 1 の目的とした予習システムを作成することにした。

(2) WWW の利用とクライアントの環境

実験予習システムを作成する際に、WWW を利用したシステムにすることは今日では当然のことと言ってよいが、それでも学生が利用できるパソコン用コンピュータが身近に十分な数だけあることが前提になる。

幸い物理学実験室のそばには物理学計算室があり、ここでは少々古い機種ではあるが 5 台のコンピュータを学生に自由に利用させている。この他にも、各研究室の実験室にあるコンピュータや、少し遠くなるが、教育実践研究指導センターや図書館のコンピュータが利用できる。さらに、今回は学生が自宅からも利用できるようにした。

(3) 予習問題の内容

事前にテキストを読んでもらうために、WWW 上で簡単な readiness test を行うこととした。ここでは、学習者の負担を軽減し、意欲を持続させるために、

- ・解答に要する時間を極力短くし、全部が数分でできるものとする
- ・結果がすぐわかり、再度解答することもできるようにする

という 2 点に配慮した。問題は図 1 に示したようなごく基本的なものに絞ってある。問題文を短くするために、テキストを読まないと意味がわかりにくいような省略された表現も使用している。

(4) 補足的な説明

実験の説明は印刷物で配布しているが、WWW のみでも学習できるように、印刷物とほぼ同じ内容のも

A. 2 次元の衝突
1. 運動量について正しいものは。
<input type="checkbox"/> 1. 質量と速度の積で表される。 <input type="checkbox"/> 2. 速度と同じ向きをもつベクトルである。 <input type="checkbox"/> 3. 単位は $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ である。 <input type="checkbox"/> 4. 衝突の直前と直後の全運動量を比較すると、一般に衝突後の方が小さくなる。
2. 運動エネルギーについて正しいものは。
<input type="checkbox"/> 1. 運動エネルギーは $\frac{1}{2}mv^2$ で表される。 <input type="checkbox"/> 2. 運動エネルギーをもつ物体は仕事ができる。 <input type="checkbox"/> 3. エネルギーの単位は J(ジュール)である。 <input type="checkbox"/> 4. エネルギーはベクトルで表せる。
3. 跳ね返り係数 e について正しいものは。
<input type="checkbox"/> 1. 跳ね返りかたは、2 球の大きさや材質によって変わることはない。 <input type="checkbox"/> 2. 跳ね返り係数は、 $0 \leq e \leq 1$ の値をとる。 <input type="checkbox"/> 3. $e=1$ の衝突を弾性衝突という。 <input type="checkbox"/> 4. $0 \leq e < 1$ の衝突を非弾性衝突という。
4. この実験における、衝突直前や衝突直後の速度の求め方について正しいものは。
<input type="checkbox"/> 1. 衝突直前・直後における球の速度は水平方向でないといけない。 <input type="checkbox"/> 2. 落下時間 t は水平方向の速度には無関係である。 <input type="checkbox"/> 3. 鉛直落下距離（台の高さ） h から落下時間が計算できる。 <input type="checkbox"/> 4. 落下時間は球の質量により変わる。 <input type="checkbox"/> 5. 水平到達距離 x は水平速度に比例する。
B. モノコードによる音叉の振動数測定
1. 音について正しいものは。
<input type="checkbox"/> 1. 音の高さは音波の振動数が大きいほど高くなる。 <input type="checkbox"/> 2. 振動数が 2 倍になると、1 オクターブ高い音になる。 <input type="checkbox"/> 3. 振動数の単位はヘルツ(Hz)である。 <input type="checkbox"/> 4. 常温での音速は約 340 m/s である。
2. 弦の振動について正しいものは。
<input type="checkbox"/> 1. 弦の長さが長くなると、振動数は高くなる。 <input type="checkbox"/> 2. 弦の張力を強くすると、振動数は高くなる。 <input type="checkbox"/> 3. 弦の基本振動の波長は、弦の長さに等しい。 <input type="checkbox"/> 4. 弦の長さを 2 倍にすると、1 オクターブ高い音ができる。
3. マイクロメーターでは何分の 1mm まで測定できますか？
<input type="checkbox"/> 1. $1/10\text{mm}$ <input type="checkbox"/> 2. $1/100\text{mm}$ <input type="checkbox"/> 3. $1/1000\text{mm}$ <input type="checkbox"/> 4. $1/10000\text{mm}$

図 1. 予習問題の例

のをWWWページ内にも掲載することにした。しかし、より重要と思われるのは、テキストでは表現しにくい「学生実験の本当の目的」である。各実験には、例えば「光速度の測定」のような目的が書かれているが、学生実験の本当の目的は、光速度の測定の原理を理解することの他に、オシロスコープの原理を理解することやその操作ができるようになることであったりする。

WWWページでは、各実験で本当に理解してもらいたい部分を強調することにした。

(5) データベースの利用

すべてのデータはデータベース (Microsoft Access) に格納することにした。基本データの種類には以下のようなものがある。

- ・ 受講者名簿 (学籍番号、氏名、パスワード、前回ログイン日時)
- ・ 実験項目
- ・ 実験予定表
- ・ 予習問題と正解
- ・ 解答結果 (1回目の解答と最新の解答の2種類を記録)
- ・ レポート提出記録

これらをWWWページに埋め込んで表示するために、Microsoft社のActive Server Pages (ASP) を利用し、VBScriptでプログラムを書いた。データベース化の利点は、管理の容易さの他に各種の集計が瞬時に表示できる点や長期間のデータの比較ができる点にある。

また、ASPの利点としてセッション変数が使えることがあり、これによりログインしたユーザの情報を複数のページで共有することが容易になる。

(6) その他

運用開始2年目以降に掲示板を追加したり、Java Appletによるマイクロメータやノギスの操作練習プログラムを追加したりした。今後も演習の時間などを利用して実用的なソフトを開発し、追加していくと考えている。

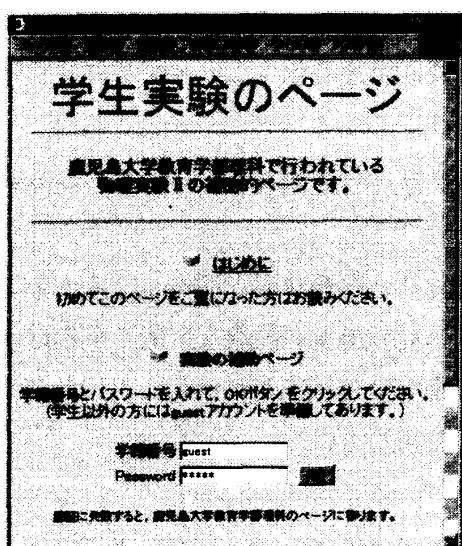


図2. トップページ（ログイン画面）

2.3 使用しているシステムの概要

ここでは、現在使用しているシステムの主なページを紹介する。

(1) トップページとログイン

本システムのトップページは本学部の理科教育（物理）のページからリンクされており、まず図2のログイン画面が現れる。

実験を履修している学生は「学籍番号」と「Password」による認証を通過して予習ページに進む。パスワードは暗号化されて記録されているので、管理者にもパスワー

ドはわからない。そのため学生は普段使用しているパスワードを使うことができる。パスワードの暗号化は、特に大学院生などにシステムの管理を委託する場合には必須の条件になる。

学生のアカウント以外に、管理者用のアカウントとゲストアカウントが用意されており、ログインしたアカウントに応じて表示される内容が異なる。ゲストアカウントでは、予習の進行状況やレポート提出状況などの個人情報は表示されない。逆に、管理者用アカウントでは、履修生が見るページの他にレポート提出を記録するページが表示できる。

(2) メニューと予習問題

ログイン後は図3のメニュー画面になり、左側のメニューはこの後のページで常に表示されている。このメニューで実験項目を選択すれば予習問題のページに移る(図4)。

予習問題は、正しいものをマウスでクリックするだけで解答できる形式にした。各実験に3~4題の問題を作り、各問には3~5の選択肢を用意してある。平均15程度の設間に目を通すことになるが、考え込まなければ約1分で解答できる。

解答が終わり、OKボタンをクリックすると、即座に応答画面(図5)が表示される。各問毎に簡単な説明が表示され、設問でチェックすべきものにチェックされていた場合は○が表示される。そのため、もう一度解答をやり直せば、ほぼ全問正解になるはずである。

1回目の解答が理解度を正しく反映するものと思われる所以、解答のデータとしては、1回目の解答と2回目以降の解答を別に記録するようにしている。(解答した回数は記録していない。)

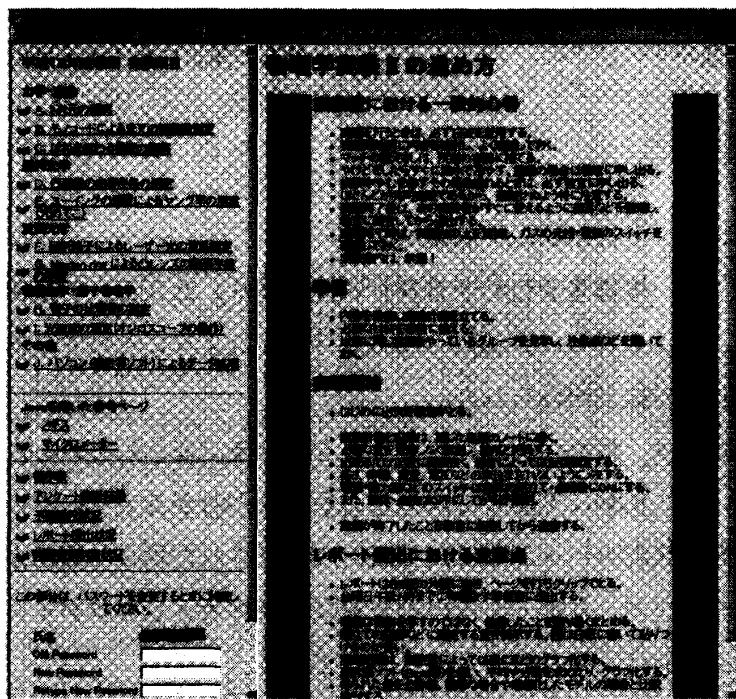


図3. ログイン直後のメニュー画面

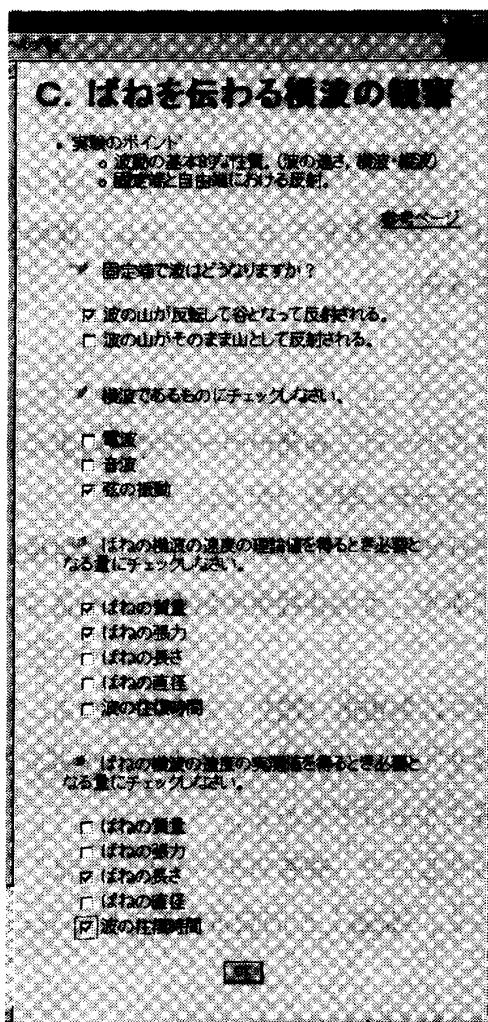


図4. 予習問題のページ

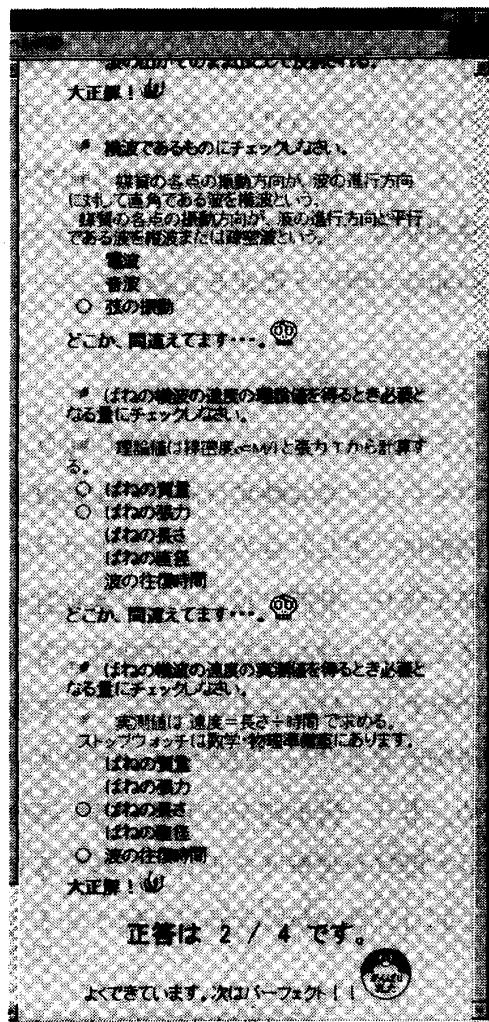


図5. 解答に対する応答のページ

(3) 予習進行状況・レポート提出状況・利用時間帯

運用開始2年目からは、履修者全員の予習進行状況(図6)とレポート提出状況を履修者に閲覧できるようにした。これは予習ページ利用の動機付けになるようにとの考え方からであったが、後述のように、ほぼ予想通りの結果が得られた。

予習ページの解答結果は、最終の正答率により異なる画像で表示している。正答率そのものに意味があるわけではないが、正解に至るまで努力したか否かがわかるようになっている。

同様に、レポート提出状況のページでは、期限内に提出された場合と提出が遅れた場合では、異なる画像が表示される。なお、レポート提出の記録は、管理者としてログインし、一覧表にチェックをすれば提出日が自動的に記録されるようになっている。

2000年度後期からは、本ページにアクセスした時間帯や場所を集計して表示するようにしている(図7)。これは履修者には特に興味がないものと思われるが、利用者の環境を調査する目的で追

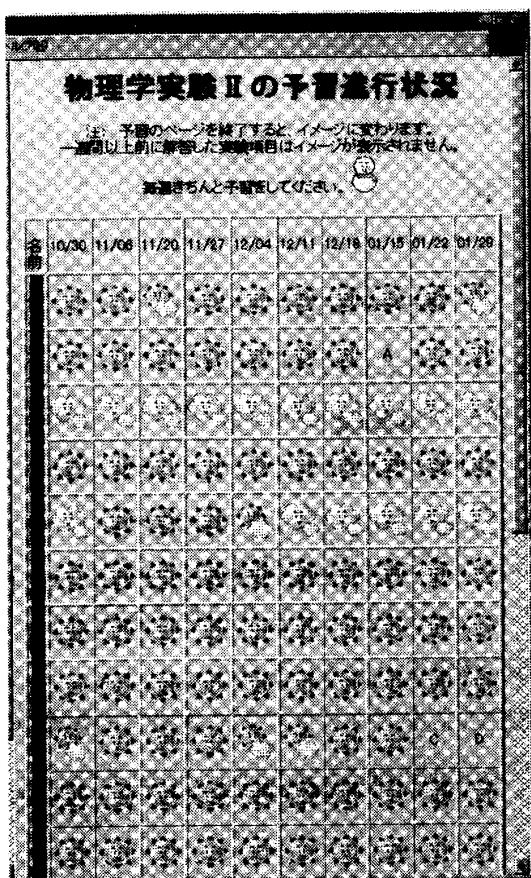


図6 予習進行状況のページ

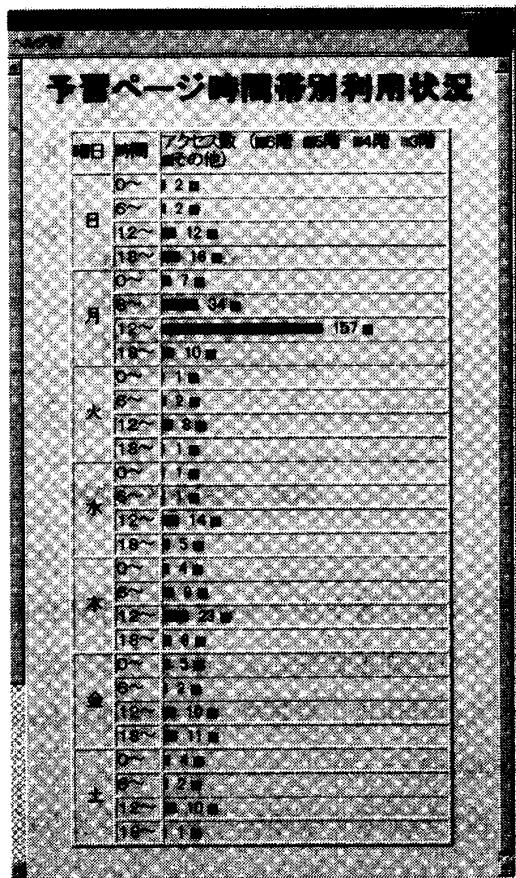


図7. アクセスした場所と時間の集計表

加したものである。曜日、時間帯別のアクセス数とクライアントのIPアドレスを分類して累積棒グラフで表している。

3. 運用結果と評価

3.1 利用者数の推移

この予習システムは、履修者に利用を強制することはできないので、通信教育に似た側面もあり、継続して利用してもらうには少し工夫が必要だと思われる。

まず図8に、1999年度後期から2000年度後期までの物理学実験において、各時間に本システムを利用した人数の推移を示す。

1999年度後期は、特に工夫をしなかったので利用者数が回を追うごとに減少していった。また、このときは、2、3回目についてすべての予習問題を解答してしまう者もいた。おそらく、特に予習をせずに、クイズのような気持ちで解答してしまったものと推察される。2000年度前期も特別な工夫は行わなかつたが、実験項目を3回に分けてWWWページに追加掲載する形式であったことと、WWWページ自身の情報量が増えたことで、利用数の減少が止むを得ないものと思われる。

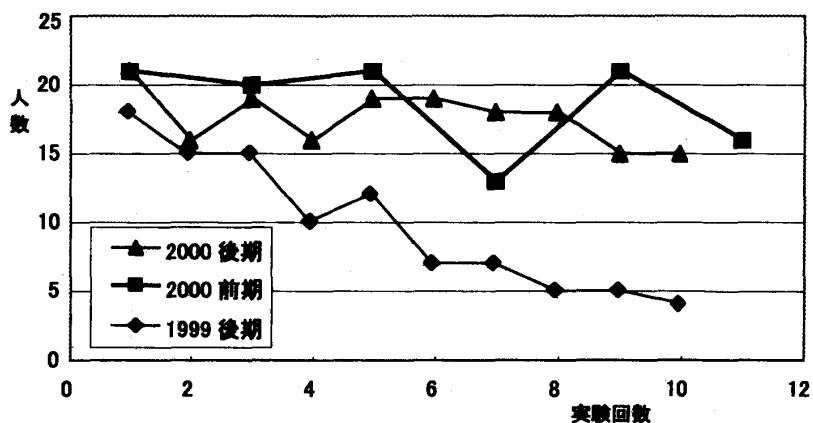


図8. 利用者数の推移

さて、この予習システムの利用を持続させる工夫としては以下のようなものが考えられる。

- (a) 1つの課題が終わってからでないと、次の課題に進めないようにする。

この方法は、筆者の一人が参加したパソコン通信によるプログラミング講座でも顕著な効果があった。⁵⁾

- (b) 他の履修者の進捗状況がわかるようにする。

この方法は、場合によりマイナスに作用することも考えられるが、一般的には有効であろう。

- (c) 当然のことながら、内容を魅力的なものにする。

2000年後期からは、(b)の方法を取り入れ、予習進行状況とレポート提出状況を履修者に公開するようにした。また、(a)の方法は実験に欠席した場合に不都合が生じるので、そのまま採用できないが、2週間以上先の実験の予習問題に解答しても予習進行状況には表示されないという形で採り入れた。この結果、2000年度後期には強制することなく利用者数を維持できたと思われる（図8）。

3.2 利用環境

実験後のアンケートで、どこのコンピュータを利用してアクセスしたかを調べた（表1）。また2000年後期からは、サーバ側でアクセスログをとり、利用時間帯とクライアントの所在を集計し、WWWページで参照できるようにした（図7）。表2には、場所毎にアクセス回数とアクセス人数を示してある。

これらの結果から、各期とも理系棟6階（物理学計算室）からの利用が大きな割合を占めているが、最近になるほど他の場所からの利用が増えていることがわかる。所属する研究室によりコンピュータの利用環境が異なることも観えるが、全般にインターネットがますます身近なものになってきたことがわかり、今後さらに自宅からの利用も増加すると思われる。したがって、WWWによる教育システムは、これまで以上に有効性を増していくものと思われる。

表1. 利用場所のアンケート調査結果
(数値は人数、複数回答あり)

場所	1999	2000	2000
	後期	前期	後期
4階	4	2	2
5階	2	8	7
6階(物理学計算室)	17	14	12
自宅	0	4	6
その他	0	1	2

表2. ログによる利用場所集計
(2000年度後期)

場所	ログイン数	人數
4階 M実験室	9	2
5階 Dゼミ室	17	2
Sゼミ室	50	8
6階 物理学計算室	118	21
大学内 大学中央図書館	13	2
教育実践センター	1	1
大学外	41	8
総数	249	

なお、利用時間帯は、図7に見られるように、実験が行われる日の昼休みか実験の直前に集中しているが、これは自然なことと思われる。

3.3 解答の分析

解答の結果から、予習問題の設問の適切さや実験内容が学生に理解しやすいものであるか否かが分析できる。この目的にはS-P表⁶⁾による分析が便利なので、当初からS-P表で扱えるような設問形式にしてある。

例えば、10年以上前は興味を持つ学生が多かった「2次元の衝突」は、現在の学生にはむずかしい実験になってきていることがわかった。「運動量は速度と同じ向きを持つベクトルである。」といった設問の正答率が低いことから、物理の基礎概念が理解できていない者が多いことがわかる。また、実験の操作に関する設問の解答からは、実験原理の理解が十分でないことがわかる。この対策として、テキストやWWWページに、より基礎的でわかりやすい解説を補足するか、または実験そのものを、より単純な実験に変更することが考えられる。

より詳細な分析は文献1でなされているが、あまりに個別的な問題になるので、ここでは省略する。その代わりに、システムを改善すべきと思われる別な側面に触れておく。

上記のS-P表分析はシステムに組み込む予定であったが、これは未完成で、今回のデータ処理にはかなりの手作業を必要とした。この点は今後改良できると思うが、これと合わせて改良すれば有効だと思われる点は以下の点である。すなわち、これから始まる実験に対する予習問題の解答結果から、どの実験グループに特に補助が必要となるかがわかるはずである。そのためには、実験時間の直前にその日の実験に対する予習問題の解答結果だけを一覧できる機能があればよい。この場合の解答結果は、1回目の解答の結果を用いるべきである。

ローテーション方式の実験では、多種類の実験が同時に行われているため、教師や補助者は各実験グループを一巡するだけでは時間が尽きてしまう。この際に、あらかじめ注意が必要なグループが把握できればより有効な指導ができると思われる。S-P表は、全実験が終了するまで欠落部

分が多く、あまり役立たないが、特定の日の結果を表示する機能は上記の目的に有効だと思われる。

3.4 アンケート結果

各期の実験が終了したとき、履修者に対して物理学実験の予習ページに関する無記名のアンケート調査を行った。予想に反して、面倒だという意見は見当たらず、ほとんどが好意的な感想であった。その中の一部を以下に紹介する。

- ・他の実験とは違って、きちんと予習をしていく癖がついた。自分で予習をして行かないし、問題を解くことで実験をする意味、注意することが分かって非常に役に立った。
- ・実験のホームページのおかげで実験は行いやすかった。実験図などもあり、とても分かりやすかった。
- ・予習をすることがあまりないので、こういった形で予習できてとてもよかったです。実験の内容などが理解しやすくなると思います。
- ・意識して予習をすることができたので、毎回がんばらないとと思うことができました。
- ・高校の頃に物理を履修していなかった者のために、専門用語を分かり易く解説してほしい。
- ・毎回実験をするときにずっと頭に残っている内容でスムーズに進めることができました。解答解説以外のところでも数式などがあれば理論を考えながら問題を解くことができたのではないかと思います。
- ・色々な実験を行ってきたが、もう少し身近な事柄の実験をして欲しかった。または実験がもっと身近になるような説明が欲しかった。

これらの感想からも、実験前にテキストに目を通してもらうという本システムの当初の目的はかなり達成できたと考えられる。

4. おわりに

前章でみたように、すでに2年間運用を続けている物理学実験予習システムは、十分な効果を上げていると思われる。特に、

- ・短時間で解答でき、結果がすぐにわかる構成
- ・持続して利用してもらうための工夫

が重要であろう。また、解答のS-P表分析により、予習問題の設問やテキスト・WWWページ・実験内容で改良すべき点が見出せる。

今後のシステムの改良点としては、本文3.3で述べた解答の分析・参照機能の強化の他に、

- ・データベースの設計を見直し、より自由度の高いシステムにすること
 - ・3D表示による実験原理の説明画面を追加すること
 - ・履修者と同様なページが参照できる擬似学生アカウントを作成すること
- などを計画している。

このような実用的なシステムは汎用のソフトで実現することが困難であり、ソフト開発には少々手間がかかる。またサーバ機の管理も行わなければならない場合は、セキュリティ対策などの労力も無視できない。しかし、実用的教育システムの構築にはこの労力は不可欠なものである。古くからオーサリングシステムと呼ばれる教材開発ソフトが考えられており、最近ではWWW用の教材作成支援ツールも研究されている。⁷⁾しかし、一般に既成のソフトは自由度が十分でなかったり、逆に機能が多すぎて使用法を学ぶより自分でプログラムした方が簡単であったりする。利用できるツールはできるだけ利用した方がよいが、最近のプログラミング環境は簡便になってきているので、プログラミングを学習する余裕さえあれば、自力で開発することが最善と思われる。今後も、学生等の教育を兼ねて、また学生等の協力を得ながら実用的な教育システムの開発を続けていきたい。

参考文献

- 1) 谷山健治、ネットワークを利用した物理学実験予習システムの制作、鹿児島大学大学院教育学研究科修士論文（2001）。本稿は、この修士論文の一部を基にし、加筆したものである。
なお、本システムは本学部の理科教育（物理）のページからリンクされており、個人データに関わらない部分は公開されている。<http://www-sci.edu.kagoshima-u.ac.jp/st-sci/physics/>
- 2) 種村雅子、WWWを活用した表面張力の実験—教員養成学部における試み—、大学の物理教育1999－3号（1999）pp. 39－43.
- 3) 種村雅子、物理学実験に取り入れた科学史、大学の物理教育2000－3号（2000）pp. 46－50.
- 4) 松浦執、Webサイトを利用した基礎教育物理の授業、大学の物理教育1999－2号（1999）pp. 54－58.
- 5) 園屋高志・真田克彦・三仲啓・遠矢守、パソコン通信を利用した情報処理教育の実験的研究、鹿児島大学教育学部研究紀要 教育科学編、Vol. 46 (1995), pp. 167－183
- 6) 佐藤隆博、「授業設計と評価のデータ処理技法」、明治図書（1986）
- 7) 小山内幸治・湯川崇、CGI自動生成プログラムを用いたCAI構築の支援システムの開発、日本教育工学雑誌23 (Suppl.), pp. 57－62 (1999)