

分散型反復学習アドバイスを活用したe-Learningによる 初等物理の学習促進

Learning Facilitation of Introductory Physics by e-Learning with an Advice System for "Spaced Learning"

松浦 執
東海大学開発工学部

Abstract: An e-Learning system was constructed to support after school learning of introductory physics. The e-Learning which provided materials for self-learning was connected with the face-to-face teaching through preparation and review drills. Description drills were provided for preparation for the class, and multiple choice drills and calculation drills were provided for review. To evaluate the degree of understanding of drills, an evaluation function of the accumulated scores with time-dependent weights was introduced. Using this function, advices for repetition of exercises were provided on the basis of the method of spaced learning. The spaced learning is a method that the learning of a subject is effective when exercise of the subject is repeated with adequate intervals of time. With this e-Learning system, repetitive learning was found enhanced considerably. Also, the average scores were found increased with repetition of drill sessions. These results suggested that motivation to attain better scores was enhanced by the system.

Keywords: introductory physics, e-Learning, repetitive study, spaced learning

1. はじめに

(1) 物理学基礎教育の問題

近年、大学理工系学部での物理学基礎教育に関して、次のような問題が共通的に指摘されている。

初等的数理スキル習得が不十分な学生の増加
実際の現象と結びつけて理解させる必要性
作図や式の展開などの表現技術習得の必要性
学生は物理的な考え方や意味の把握が苦手
以上に対応しつつ、理工系専門教育で前提とされる内容を広く扱うには授業時間が不十分

そこで、対面指導の強化とともに、ICT (Information & Communications Technology, 情報コミュニケーション技術) による授業時間外学習支援の試みが増えつつある^[1]。ICTは情報技術を用いての多様な「人と人」、「人とモノ」などのコミュニケーションを重視した概念である。学習においても、学習者同士や学習者と教師とのコミュニケーション、学習システムの対話性・双方向性がますます重要になるだろう。

Shu Matsuura Tokai University.
E-mail: shum@wing.ncc.u-tokai.ac.jp

(2) 電子教材活用上の問題

物理でのe-Learningの実際的问题として、筆者が行ったメールでの聞き取り調査では、次のような点が主に指摘された^{[1],[2]}。

Web掲載教材が学生の予復習に活用されにくい
学生の学習動機の維持・促進が難しい

(3) 物理教育を支えるe-Learningのために

物理基礎教育に適用する上で、e-Learningの最も基礎的なメリットは次の二つであろう^[1]。

学習者個別の学習支援が可能
授業時間外の学習支援・促進が可能

これらにより授業時間外学習を充実させることがe-Learningの使命である。

物理学は、論理的で積み重ねの性格が強い科目である。e-Learningを物理学に活用するにあたり、学習動機を維持しつつ、理解の積み重ねを補強する機能を持たせることも課題である。本稿では、分散型反復学習アドバイス機能を持つ自作のWeb利用e-Learningシステム^[3]による、学習動機の維持と、積み重ね学習の支援の試みを報告する。

(受付 : 2005年7月2日 , 受理 : 2005年10月1日)

2. e-Learningと対面授業

(1) 本報告での授業規模

本報告では、2003、2004年度春秋学期の授業受講者についてのデータを解析する。延べ受講者数は388名、うちe-Learning利用者数は379名である。各学期の受講者数は、2003年度春93名、秋179名、2004年度春37名、秋79名である。

(2) e-Learning構成と対面授業の対応

電子教材は授業の進行に合わせて配列し(図1)、記述ドリルを予習に、選択肢ドリルや計算ドリルを復習問題にあてている(図2)。各教材に入力フォームを設定し、学生の感想や質問などを収集している。

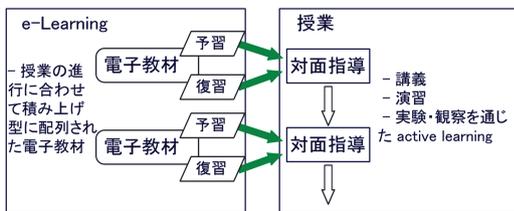


図1 対面授業とe-Learningのつながり

図2は「Everyday Physics on Web 学習支援システム」のスクリーンショットである。画面には「解説コンテンツ」「記述ドリル」「選択肢ドリル」「計算ドリル」の4つのタブがあり、それぞれに様々な物理のドリルとコンテンツへのリンクがリストアップされている。例えば、「力の概念」や「運動の法則」などの項目がある。

図2 コンテンツおよび各ドリルへのリンク表

予習問題では身近な現象を題材にして、これを物理的に説明させる。これは第1章に挙げた問題(1)の、(2)のに対応して、学習内容への関心を高めることを目的としている。問題には解説教材へのリンクをヒントとして添えて予習しやすくし、解答を記入すると教員の解説が表示され、その時点で理解できるようにした。学生からは、「難しいが、授業でよ

く聞いて理解したい」との感想がしばしば見られる。

復習ドリルは選択肢型および計算ドリルが中心である。選択肢型ドリルでは、授業で特に理解させたいポイントを出題した。物理教育では、経験的直観などに起因する「誤概念」が問題になる^[4]ため、選択肢型ドリルでは誤概念に陥りやすい内容を特に取り上げた。各選択肢をクリックすると、選択肢の内容に対応した解答フィードバックが表示される(図3)。

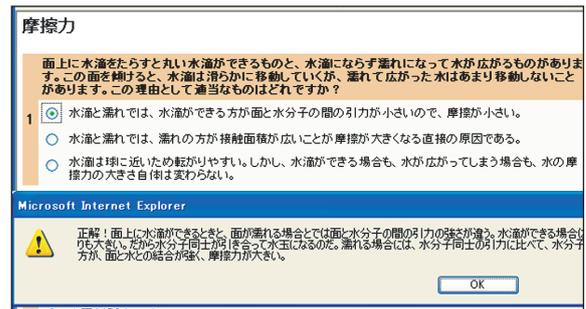


図3 選択肢型ドリルと解答フィードバックの例

数値計算ドリルでは、変数の一つを乱数によりページ表示のつど変動する値にした。初歩問題には、図と、記号式による解法のヒントを付与した。

(3) 対面授業での演習・試験とe-Learningとの接続

対面授業では小テスト、中間・定期試験を実施している。そこで、e-Learningと授業時試験成績の評価とを合わせた学習評価のサマリーを、e-Learningで閲覧できるようにした。

表示内容は、個人別学習目標、小テストの得点と追加問題へのリンク、中間・期末試験の成績と得点ヒストグラム、e-Learningの学習評価、そして、総合評価値である。

図4に学習評価サマリーページの月別閲覧数推移を示す。授業終盤になるにつれ、学生はこのページをよく確認している。このページは成績評価を定量的に示して学習動機を高め、追加問題への取り組みを促す働きをする。特に授業後半のe-Learning活用の大きな促進要素になっているものと推測される。

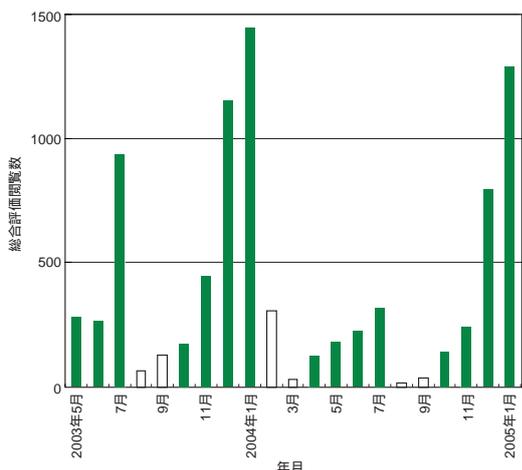


図4 毎月の対面授業時試験成績ページ閲覧数

3. 分散反復個別学習支援システム

(1) 分散学習と積み上げ学習の支援

同じ内容を連続して反復学習する集中学習よりも、適当な間隔をあけて学習する分散学習の方が記憶の再生率が高い^[5]。水野は、分散学習での再学習時の課題学習順序を、理解度の低い順に並べるLow-First分散学習方式を提唱し^{[6][7]}、同一問題の*n*回目の学習後の理解度を評価する次のような重み付け累積正答率 P_n を提案した。

$$P_n = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{2}\right)^{n-i+1} p_i$$

ここで、 p_i は*i*回目(1 ≤ *i* ≤ *n*)の正答率である。最新の学習結果ほど重く評価する。

物理学の授業は積み上げ学習である。後出学習事項は、先出事項の理解を前提にするので、頻繁な復習が必要である。また各項目の復習の必要度、タイミングは個人ごとの理解度に依存する。

そこで、数ヶ月にわたる授業でのe-Learningには、ア．時間経過につれて学習内容の記憶の活性が下がることと、イ．新しい内容を学ぶために再学習の必要性が高まること、の両方を考慮して、時間経過に応じた復習促進を行う必要がある。

ドリルの*i*番目の解答送信時からe-Learningのアドバイスページを開くまでの経過時間を*t_i*とする。ドリルの*i*回目正答率 p_i に対して*t_i*を変数としたシグモイド関数を学習後経過時間の寄与として導入した累積正答率を次のように定義した。

$$P_n = \sum_{i=1}^n 2^{-(n-i)} \left\{ 1 + 3 \exp\left(\frac{t_i - \tau}{\tau}\right) \right\}^{-1} p_i$$

中括弧で囲まれた項により、学習後、時間経過するほど評価を下げる。時間を日単位とし、 $\tau = 30$ 日と設定した。式で定義される P_n を、時間を含む重み付け累積正答率と名づけよう。

図5に選択肢型ドリルの学習アドバイスページを示す。既習ドリルを、 P_n の値により6段階に分類・整理して、「今すぐやり直そう」から「マスターしています」までのアドバイスを添えて区分表示した。より早く再学習すべき区分ほどページ上部に表示し、迷わず反復学習に着手できるようにした。

この方式によれば、正答率の低かったドリルをより早く復習させ、忘れないうちに理解を促すことができる。さらに、正答率が高く、一旦理解したと考えられるドリルについても1ヶ月程度で再度の復習を促すことができ、積み上げ学習の補助として機能すると考えられる。

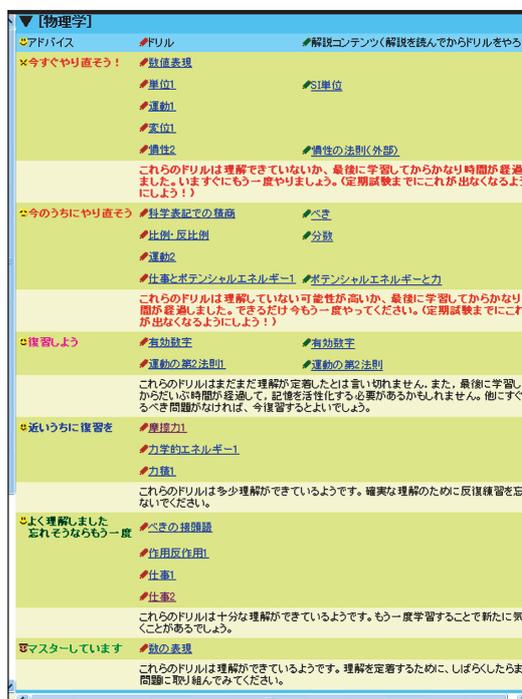


図5 ドリル学習アドバイスページ

(2) 反復学習の解析

選択肢型ドリル返信記録(総数23,591件)に対する解析を以下に議論する。学習者一人当たり平均学習ドリル数はおよそ14であった。

図6に各反復回数の学習事例数を示す．反復回数が増すにつれ，学習事例数は少なくなるが，5回程度までの反復学習は相当数行われているといえよう．授業受講者の72%が少なくとも一つ以上の選択肢ドリルについて反復学習を行っていた．

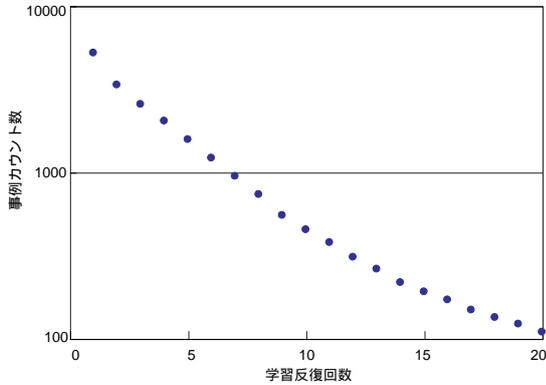


図6 各反復回数の学習事例数

図7はドリル反復回数と平均正答率の関係である．反復4回程度まで，反復回数とともに平均正答率が増加している．学生の感想には，「だんだん分かってきた」「完璧にできるようになった」など反復学習による理解の定着を示唆する記述が見られた．

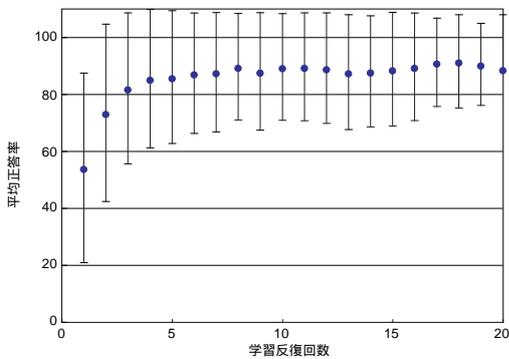


図7 平均正答率と学習反復回数の関係
誤差棒は標準偏差の範囲を示す．

反復学習に伴う正答率変化を詳細に調べた．図8は，学習者が1回しか学習しなかったドリル学習事例についての正答率分布である．1回でやめてしまった学習には，低得点の割合が多い．このような正答率分布のタイプを仮にA型と呼ぼう．

次に，反復学習を実施したものについて調べた．同じ学習者の初回から2回目の解答で，正答率が「a：増加した」，「b：変化なし」，「c：減少したもの」の三つに分類した．同じ学習者

が3回の学習を行った事例数はa：3582，b：8347，c：1994であり，cが最も少なかった．ところが，2回の学習後，さらに3回目の学習も行った事例の割合を見ると，a：0.794，b：0.797，c：0.853であった．即ち，2回目に正答率が下がる事例数は少ないものの，再挑戦する傾向は反対にやや強い傾向があった．

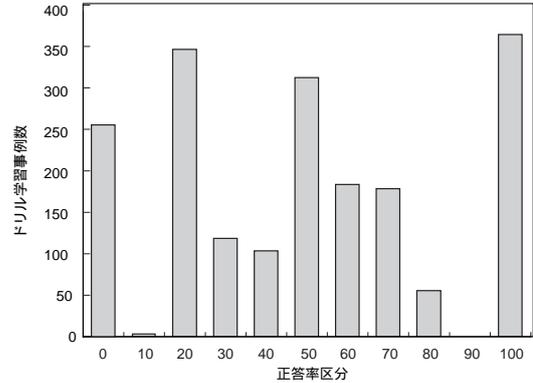


図8 反復学習されなかったドリル学習の正答率分布
正答率分布は低得点も多いA型である．

そこで，反復学習を行ったa～cについて，初回から3回目までの解答の正答率分布を調べた．図9は初回から2回目の学習で正答率が変化しなかったbの初回正答率分布と，さらにその後，同じ学習者が3回目に学習したときの正答率である．初回，3回目とも満点に近いピークがあり，70点付近に小さいピークがある．これは理解度が高く，初回からある程度理解しながら選択肢を選んでいくようなタイプであると推察される．この特徴をもつ正答率分布をB型と仮称しよう．

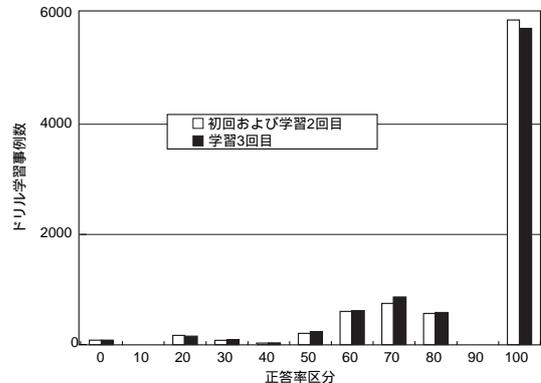


図9 学習1，2回目で正答率変化がない事例の，1～3回学習時の正答率分布（初回と2回目は同じ）
正答率分布は満点と70点付近にピークのあるB型である．

初回学習から2回目に正答率が増加するケースaについて、1～3回の学習での正答率分布を比較したのが図10である。初回学習での分布はA型であるが、2回目にB型に変わり、3回目もB型を維持している。これは、初回には正しく判断できるだけの理解ができていなかったが、2回目以降で正答できるようになったことを示唆している。

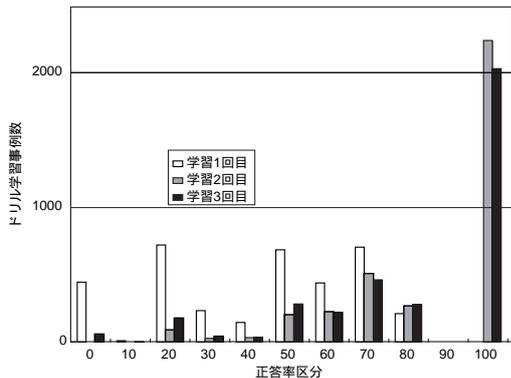


図10 学習2回目に正答率が増加した事例の1～3回学習時の正答率分布
正答率分布がA B B型と変化している。

最後に、初回よりも2回目の正答率が低くなったケースを図11に示す。初回正答率はB型だが、2回目にはA型になってしまった。これを再学習して3回目にはB型に戻している。実際、学生の感想にも「忘れていたことに気づいた」などが見られる。

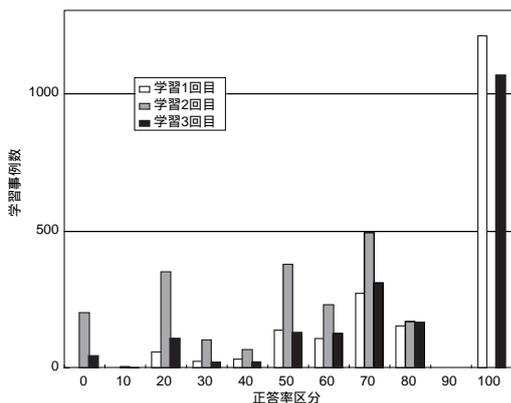


図11 学習2回目に正答率が減少した事例の1～3回学習時の正答率分布
正答率分布がB A B型と変化している。

表1に以上の遷移タイプをまとめた。全体として3回目までに、理解の確定していないA型分布から、安定した正答ができるB型に移行している。3回の反復学習で、単に平均正答率が上がるだけでなく、分布が高得点に集中するこ

表1 1～3回学習時の正答率分布の変化

学習1～2回での正答率変化	学習1回目	学習2回目	学習3回目
一定	B → B → B		
減少	B → A → B		
増加	A → B → B		
反復学習なし	A		

とは注目される。ドリルの成績が向上して、知識が定着する体験が得られるならば、これが学習動機を維持する効果をもたらすものと期待される。

4. まとめ

予復習問題、ならびに授業時テスト成績とe-Learning学習成績を統合した評価システムを通じて、積み上げ学習型の物理基礎教育の授業に密接に関連づけたe-Learningシステムを構築した。このシステムでは、ドリルの理解度を、時間を含む重み付け累積正答率を用いて評価し、これに基づいて分散型の反復学習を促進するアドバイスを学習者に提示した。反復学習により、理解の定着と学習動機の維持に効果がみられた。

本研究の学習支援の方法は単純なものであり、教科内容によらず汎用できよう。分散化した反復学習により、新しく学ぶことの前提知識を再活性できる。ただし、学生から発せられる質問や感想に対しては常にアドバイスを返信し、ドリルや資料の改善を怠らないことも不可欠である。

参考文献および関連URL

- [1] 松浦執:インターネットへの物理教育の展開. 日本物理学会誌, 60(3), pp.220-223, 2005.
- [2] 松浦執: 物理教育に向けたe-Learning利用の動向. 応用物理教育, 29(1), pp.47-52, 2005 .
- [3] <http://nkiso.u-tokai.ac.jp/phys/matsuura/>
- [4] 川勝博他:学ぶ側からみた力学の再構成. 新生出版, 1992 .
- [5] Ebbinghaus, H.: Memory (H. A. Roger & C. E. Bussenius, Trans.). New York: Teachers College, 1913.
- [6] 水野りか: Low-First分散学習方式の効果のCAIでの実験的検討. 日本教育工学会論文誌, 24(2), pp.111-120, 2000.
- [7] 水野りか:学習効果の認知心理学. ナカニシヤ出版, 2003.