### 学習を広げるトピックマップ型e-Learningによる物理学入門

# Introductory Physics Education by a Topic Maps Based e-Learning That Stimulates Exploratory Learning

松浦 執 東海大学開発工学部

Abstract: In the previous e-Learning system that the author had developed, the learning materials specific to each physics course were arrayed in one dimension in the portal of the learning course. This traditional learning portal is named as the course type portal in this paper. However, since the relationships among knowledge of physics are not always one dimensional, the learners could not sufficiently understand the relationships of knowledge under such learning courses. In this study, to let students learn based on the networked knowledge, a visualized Topic Maps portal that represented the knowledge structure of whole range of introductory physics has been introduced. In addition, the learning records of individual students were visualized by the colors of topic names in the portal. To evaluate how widely students learn in the basic five fields of physics that were represented in the Topic Maps portal, a quantity of anisotropy in learning of the five fields was defined. It was found that the anisotropy values of most of the students were nearly 0.8 (1 at maximum anisotropy) in the 2006 spring semester, in which both the course type portal and the Topic Maps portal were used. From the 2006 autumn to the 2007 autumn semester, in which only the Topic Maps portal was used, the values varied in the range from 0.1 to 1 with individual students. It was concluded that Topic Maps portal induced many students 'self-learning over wider range of contents than those specified in the face-to-face class. Keywords: Introductory Physics, e-Learning, Topic Maps

### 1.はじめに

理工系学生の,物理学の既有知識や初歩的数理スキルの実力,また授業過程でのそれらの習得速度が多様化している.それゆえ,対面教育による直接指導に加え,学生個々が個別の必要に応じた自宅学習を進められる学習メディアが不可欠である.さらに,個別の学習成果を成績評価に適切に反映させることを要である.これらの目的のためには,学習者個別のカスタマイズが可能なe-Learningを対面授業とのブレンディングに活用することが有効と考えられる.

さて、学生は単位取得要件や興味関心によって、学習範囲を限定しようとする傾向がある。この副作用として、断片的知識吸収の反復に終始し、知識の系統的理解に至れないことがある。そこで著者は、対面授業の予復習のためのe-Learningを構築し、分散型反復学習アドバイスシステムを導入して理解の定着

Shu Matsuura Tokai University E-mail:shum@wing.ncc.u-tokai.ac.jp を促すとともに,反復的学習の動機を高めることを試みてきた[1].その結果,設定されたドリルの反復学習促進には有効に機能した.しかし,授業スケジュールに従って1次元的に配列した課題を順次処理する学習方式は学生にとって学習手順に迷いを生じさせないが、知識の関連の系統性を意識させ難かった.また,学習範囲が授業で扱う分野(「力学」「熱」など)に限定されてしまい,分野を超えた知識のつながりに着目しつつ,広い分野を開拓的に学ぶことができなかった.

物理学は理工系諸分野において理解と創造のための共通的に用いられる基盤知識である・技術の高度化は、必然的に物理学的知を要請してきたと考えられる・しかし科学技術のもとで加速された、利便のための人工物の創造は、人間と自然との関係において予想し難い機能を発現し、結果としてわれわれは、資源の枯渇、気象変動、食料危機、環境劣化などの問題に直面し、社会の持続のための知識と人工物のsynthesisが求められている[2]・そこでは諸分野の知識を理解し活用する能力が求められる・学生が学習を拡げ、諸分野の

(受付:2008年7月5日,受理:2008年10月4日)

知識を関連させて学ぶ能力の発現を促進し, 評価していかねばならない.

教室での講義は時間的にも,また提供できる情報や体験の幅においても限定される.一方,インターネットでは数多くの最新情報や集合知を見い出すことができるが,系統的に配置された知識を探索する場ではない.インターネットの中に置かれたe-Learningの可能性は,Webシステムの機能を活用した学習管理装置にとどまるものではない.物理学が,多様な科学技術的知の理解における共通基盤として用いられ得るのと同様に,系統性をもった学習知識で構成されるe-Learningシステムは,インターネットに結合された,基本知識の系統樹を備えたゲートウェイとなるべきである.

## 2. トピックマップ型e-Learning の開発

本研究では、1次元的に配列した課題を順次処理する従来の講座方式から、物理分野の知識構造をマップとして可視化したインタフェースを提供することで、学習教材へのポータルとしたe-Learningへの転換を試みた.この知識構造表現のために、人間の概念認識に合わせて情報を整理するための国際規格であるトピックマップ技術®の考え方を活用した.

### (1) トピックマップによる知識表現

図1に示すように、トピックマップでは、 情報の主題を「トピック」として表現し、主 題間の関係を「関連」と呼ぶ・トピックと関 連が「知識層」を構成する・トピックを、そ れが関連する具体的情報リソースに結びつける結合を「出現」と呼ぶ・具体的情報リソースに結びリースが「情報層」を構成する・知識層での関連のネットワークが知識構造を表現する・ととというで知識構造を表響する。ととし、 りて、情報の「見つけやすさ」を高める技術であり、既にe-Learning用のプラットホームの開発例も存在するは、また、学習者個人の学習内容をトピックマップにしている例もある。

本システムでは,2006年度秋学期に講座型のe-Learningに付加する形で,プロトタイプ

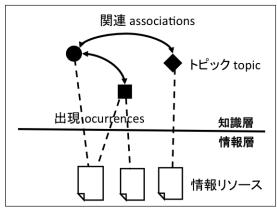


図1 トピックマップ

的な物理学習トピックマップを作成し,学習教材へのポータルとして導入した.2007年度は既存学習リソースすべてに「出現」を持つトピックマップを作成し,マップのみをポータルとするシステムに更新した.

2006,2007年度では、解説テキストと、記述型、選択肢型、計算型、自由形式の各ドリルについて、同じ構造のトピックマップを用いて、各種コンテンツをダウンロードできる別々のポータルページを設けた、ボタンでトピックを表し、ボタン間の矢印付き連結線で関連を表した・図2は2007年での選択肢型ドリルのトピックマップポータルの状況を示している・2006、7年のトピックマップではトピックと関連の数が多く複雑になった・そこで、通常、関連連結線は淡色にしておき、ボタンにマウスオーバーしたときだけ、そのトピックへの関連矢印のみ強調表示するようにした・



図 2 2007年度時点でのトピックマップポータル 選択肢型ドリル用の画面. 左中央の「仕事」にマウス オーバーして「仕事」の関連連結線を表示.

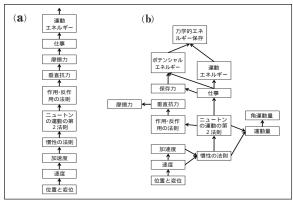


図3 力学トピックマップの部分 (a)逐次的学習 (b)トピックと関連の図

図 3(a)は力学分野の一部の逐次的学習ナビゲーションの例である. 矢印は学習順を示している. この表示は, 学習手順が明瞭になるものの, 学んだ知識の関連構造の把握には適していない.

図3(b)は同分野のトピックマップ表示の例である.項目名はトピック(主題)を表し,矢印はトピック間の「is\_based\_on」の関係(応用 基礎概念関係)を示す.知識項目間には複雑な関係が考えられるが,ここでは学習しやすさを考慮して,「is\_based\_on」関連のみの設定にとどめている.矢印の始点に位置するトピックが基礎概念であり,終点に位置するトピックがこれに対する応用概念に対応する.

図3(b)のトピックマップ表示をもとに自主学習するときには,応用知識を探索したり,必要な基礎知識を再確認して理解を深めたりするなど,内容のつながりをもとにして学習の仕方を自己決定する効果が期待できる.

この上で,さらに図2のように5分野のトピック全体を表示することで,個別の授業で扱う範囲を超えて学生が自主的に学習を拡げていくことが期待される.本論文ではこの点についての実際の学習者の学習履歴の分析を試みる.

### (2) 再学習優先度の色彩表示

知識構造の可視化は情報を引き出す(pull) ためのものである.しかしこれだけではpull する動機を維持しがたい.そこで再学習を促すための「情報の売り込み」(push)を下述の機構により導入し,トピックマップの項目名称に色彩で表示した.

本システムの以前の段階から, 時間経過に連れて学習内容の記憶の活性が下がるこ

と, 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,時間を含む累積正答率を定義し,この評価値による復習アドバイスを行ってきている[1].

この解析は,選択肢型,計算型,自由形式ドリルの3種類に適用した.これらのドリルへのトピックマップポータルページでは,トピックボタンの色で上の再学習優先度を表示した.解説テキストおよび記述ドリルでは上の解答解析を行わないので,これらのポータルページでは1回以上の学習記録があるかどうかだけを表示した.

## 3. トピックマップ型e-Learning の効果

### (1) 本報告での授業状況と受講者の意識 授業規模と方法

本報告では,2006,2007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.表1に各 セメスターでの授業受講者総数,うちe-Learning を活用した人数比率(%),および授業での PC実習室利用状況を示した.講義科目は、 春学期では週2コマ4単位の「物理学」, 秋学 期は週1コマ2単位の「熱とエネルギー」「振 動と波動」「電気と磁気」など各論科目を開講 した.2006年春学期は4単位科目「物理学」で 実験室とPC実習室を交互に使用し,PC実習室 での授業ではその場でe-Learningのドリルな ども演習させた.これに対し2006年秋以降は, PC実習室での授業は初回に行うe-Learningの オリエンテーションに限り、対面授業のほと んどを実験室で行った. e-Learningは学生の 自主学習用とした.

2007年度秋学期での月別の解説テキストリクエスト数推移は,10月が2025回,11月が1686回,12月が1121回,1月が3991回であった.e-Learningのリクエスト数は定期試験のある月で急増する傾向があるが,多数回の学習をする受講者は継続的に学習している.

表1 受講者数とPC実習室利用

セメスター	受講者 総数	e-Learning 利用者率(%)	e-Learning学習 ポータル	PC実習室利用
2006年春学期	68	94	スケジュール+ トピックマップ	週2コマ中1回
2006年秋学期	87	95		±11=5.=
2007年春学期	87	82	トピックマップ のみ	オリエンテー ションのみ
2007年秋学期	76	86	,	J 1 J 0 0 0 1

### 成績評価方法と学習サマリーページ

成績評価の配分は,授業時にほぼ毎回行う小テストが40%,中間試験と定期試験が40%,e-Learningの学習を20%分としている.e-Learning内部に,各テストの個人別得点,全体のヒストグラム,およびe-Learning学習状況を加えた個人別成果状況を示す学習サマリーページを設けた.またこのページでは定期試験以外のテストの追加問題を提供し,自主的な解答提出があれば評価に加えている.

2007年秋セメスター中間アンケートの結果 受講期間前半までの学生の自主学習意識の 調査のため,2007年秋セメスター前半(11月 中旬)の各科目で実施した受講学生アンケー トの結果は次のようであった.e-Learningを 積極的に活用しない理由(複数回答可)とし ては、「部活動やアルバイト等で時間不足」 「自宅でインターネットに接続不能」の二つ に集中し、ともに全体の約18%であった.一 方, e-Learningを自主学習に活用する理由 (複数選択可)として多かった項目は,「授業 時テスト成績の確認と追加問題活用」が約 37%,「予復習利用」が約30%であり,他に もこれらに近い内容の項目選択が多かった.そ の一方で、トピックマップ特有の効果として期 待される「知識を開拓する」は約14%,「知識 を系統立てる」は約6%と少数にとどまった.

セメスター後半のアンケートで,授業時間外学習で,授業で扱わない分野まで自主的に広く学ぶ学習スタイルについての意見を自由記述で求めたところ,多くはこれに,「興味が広がってよい」といった肯定的な感想を示していた.トピックマップを活用したe-Learningで,自主的に広く学ぶことに慣れることができるものと考えられる.

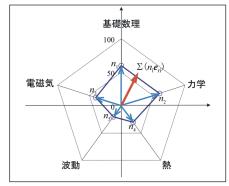


図4 分野別リクエスト数レーダーチャートと 分野別学習ベクトル

### (2) 学習ベクトルによる学習の非等方性の 特徴付け

各セメスターでの学習者の実際の学習行動 傾向を調べるため,以下の量を定義した.

本e-Learningシステムの教材分野は現在, 「基礎数理」「力学」「熱」「波動」「電磁気」 の5分野である.これら5分野の学習状況を 可視化しつつ、その偏りの程度を示すために、 図4のように5分野の教材リクエスト数をレ ーダーチャートに表した. レーダーチャートの 平面上の分野iのベクトルを、分野iのチャー ト上の単位ベクトル $e_i$ と、リクエスト数 $n_i$ で 定義される大きさとによりn, e,と表す.レー ダーチャート平面と垂直なz軸方向の成分べ クトルを,z軸の単位ベクトルeを用いて $n_i e_i$ とする.これらを合成したベクトル $l_i = n_i e_i + 1$  $n_i e_i$  を分野別学習ベクトルとする. そして, 図5のように5分野の分野別学習ベクトルの 和 L = (n, e, ) + N eを学習ベクトルと定義 する.ただし,N=nである.

学習ベクトル』は、z軸方向には総リクエスト数を成分として持ち、レーダーチャート平面内には、学習分野の偏りを反映した成分を持つ、さらにレーダーチャート上で偏りがもっとも大きくなるように、分野を再配列して各分野iのリクエスト数が $n_1$   $n_2$   $n_3$   $n_4$   $n_5$ となるよう分野と $n_1$ との対応付けを行った(図4参照)、以上のもとで、次の、学習ベクトルLのz軸方向からの傾き aを、5分野にわたる学習の非等方性の指標と定義する、

$$a = (n_i e_{ri}) /N -$$

#### (3) 学習の非等方性の分布変化

図 6 に , 各セメスターでの , 学習者のコンテンツリクエスト数Nと , 学習分野レーダーチャート平面上に射影した学習ベクトルの大きさ  $(n_i \ e_i)$  の分布を示す  $.N = (n_i \ e_i)$  と

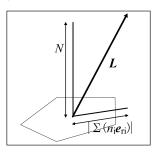


図 5 学習ベクトル $\boldsymbol{L}$ と学習非等方性  $(n_i \boldsymbol{e}_i)/N$ 

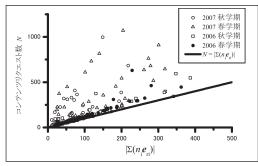


図6 各学習者の総リクエスト数と レーダーチャート平面の学習ベクトルの大きさ

なるとき、学習の非等方性が最も高く、特定分野のみの学習に限られる(図中実線).併用ポータルで、週1回はPC実習室でe-Learningシステムを開きながら授業を行った2006年春では、特に学習数の小さい学習者について学習の非等方性が高いことが見い出される.トピックマップポータルのみとした2007年春以降では、同じリクエスト数Nに対して、 (n, e,) の値が小さい学習者が現れている.これはトピックマップポータルのもとで、同じ学習回数でも広い分野を学習する学習者が現れてきたことを意味する.

図7はリクエスト数に対する学習非等方性の値のプロットである.トピックマップポータルe-Learningを自主学習のみに用いた2006年秋以降では,リクエスト数Nの大きい学習者も多い.Nの小さい学習者は非等方性が高めの傾向があり,Nが大きい学習者は非等方性の範囲が広く分布する.個々の学生によって,学習分野を積極的に拡げたり,特定分野を反復して集中的に学習したりするなど,興味や必要に応じた学び方が可能になったと言えよう.トピックマップポータルのe-Learningでは,リクエストを重ねながら学習の多様性が現れてくるものと考えられる.

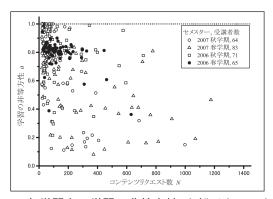


図7 各学習者の学習の非等方性 なと総リクエスト数

### 4. 成果の発展性

トピックマップをポータルとしたe-Learningにおいて,かなりの自主学習が行われ,その学習範囲には多様性が現われ,個別の対面授業で扱う範囲を超えて自主学習する学習者が多くなった.対面授業に関連する知識の構造をもとにして,自分なりの学習が進められ,それが評価される形態が実現できた.この形態を活用して,学習者が個別の必要性や興味関心を充足することに意識の重点を置きやすくなるものと期待される.

基礎知識から発展的知識への情報探索を助け、ポータルの主題中心性を高めるため、2008年春学期からはポータルを階層化するとともに、主題に関連するWeb上の外部資料にも接続できるようにした。

トピックマップの概念は簡潔で自由度が高い.知識構造を中心に情報を管理するので,基礎を専門分野の情報につなげるにも有効である.学部教育の広範囲の系統を提示することにも活用できる.

Webは、常に更新される広範な知識と、人々の思考とにつながる場である.主題中心のe-Learningシステムは、主題を通じてWeb上の知識につなげることができる.絶え間ない知識創造と変動の場に、安定した知識の系統樹として加わることで、学習者にとって統合的な知識の形成と探索の起点となることが、主題中心e-Learningの方向性といえよう.

#### 謝辞

トピックマップ開発に関する(株)ナレッジシナジー内藤求氏の貴重なご教示に深く感謝する.

### 参考文献

- [1]松浦執: 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.IT活用教育方法研究8(1), pp.16-20, 2005.
- [2]吉川弘之: 人工物観. 横幹1(2), pp.59-, 2007.
- [3] 内藤求編著: トピックマップ入門. 電機大出版局, 2006.
- [4]B. Ditcheva and D.Dicheva: Lecture Notes in Computer Science 4438, 44, Springer Berlin, 2007.
- [5] S. Lavik, et al.:Lecture Notes in Computer Science4438, 67, Springer Berlin, 2007.

本研究の一部は平成19,20年度科学研究費補助金 (課題番号19500760)の支援を受けている.