

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25350352

研究課題名(和文)深い学習を支援するデジタル教材 技術, デザイン, 学習者の研究

研究課題名(英文) Digital learning materials facilitating learning in depth: technology, design and learners

研究代表者

寺尾 敦 (Terao, Atsushi)

青山学院大学・社会情報学部・准教授

研究者番号：40374714

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：高校数学の学習支援を目的として、学習項目の解説を提供するウェブページと、問題演習のためのシステムを構築した。ウェブページは HTML5 に従い、数式の記述には MathML を利用した。問題演習システムは Moodle の小テストモジュールである STACK を用いて開発した。このシステムは、学生の誤りに応じたフィードバックを返す。開発したウェブ教材は iBooks で利用できるように再編集した。問題演習システムには、iBooks の教材を閉じることなく、教材の中からアクセスできるようにした。

研究成果の概要(英文)：To help students learn high school mathematics, we developed a web site that gives lectures on the learning items and a system for problem solving exercises. This web site follows the rule of HTML5, using MathML to describe mathematical expressions. The system for problem solving exercises uses STACK, which is a quiz module for Moodle, a Learning management system. This exercise system gives intelligent feedback to the students, corresponding to the student's answer. We then reedited the learning materials on the Web to be available in iBooks. When students study the reedited materials, they can access to the exercise system without closing iBooks.

研究分野：認知科学、教育工学、教育心理学

キーワード：eラーニング デジタル教材 MathML Moodle STACK HTML5 電子図書館

1. 研究開始当初の背景

平成 22 年(2010 年)以降、デジタル教科書およびデジタル教材に関して、大きな動きがあった。文部科学省は平成 23 年 4 月に「教育の情報化ビジョン」を公表した。これには、2020 年度に向けた教育の情報化に関する総合的な推進方策がまとめられている。わが国が目指す学校教育において、デジタル教科書やデジタル教材は中心的な位置を占めている。研究開始当初において、2020 年度には、学校教育において 1 人 1 台の情報端末が与えられ、デジタル教科書やデジタル教材を用いた教育が展開されることになるだろうと予想された。アップルの iPad など、安価で高機能な情報端末の普及は、この流れに拍車をかけていた。デジタル教科書やデジタル教材の開発あるいは研究を目的とする団体もいくつか発足した。たとえば、2010 年にデジタル教科書教材協議会、2012 年にデジタル教科書学会が設立された。

2. 研究の目的

本研究の目的は、デジタル教材の技術、教材のデザイン、学習者の特性と行動を研究することにより、深い学習を支援できるデジタル教材の開発と運用の原理を明らかにすることである。深い学習をもたらすためには、どのような技術を用いて、どのように教材をデザインし、どのように教材を使用すべきかを研究する。

われわれは、デジタル教材を使用することの本質的目的は深い学習を支援することであると考える(寺尾 2012)。深い学習とは、新しい事実やアイデアを批判的に検討し、それを既存の認知構造に結びつけ、アイデア間に多くの結びつきを作る学習である(松下・田口 2012)。教科書や教材のデジタル化は、深い学習をもたらすとは限らない。デジタル教科書の導入に対しては、主に理系の団体や研究者から、教材の表面的な美しさに目を奪われるだけの浅い学習に陥ってしまう危惧が表明されている(寺尾 2011)。われわれは、深い学習を支援するという本質的目標に向けて、技術(手法・手段)、デザイン、学習者という 3 つの方向から、デジタル教材の教育工学的、心理学的研究を行う。

3. 研究の方法

本研究では、基本的に、学習科学の研究手法を採用した。学習科学は、認知科学の成果を利用しつつ、学習環境を総合的にデザインして実践的な研究を行う。学習科学では、厳密な統制実験よりも、デザイン科学のパラダイムを取り入れた研究手法が好まれる。すなわち、目的にあわせて学習環境をデザインし、それを教育実践の場で試用して、その結果をもとに改善を繰り返すという手法である(大島・大島 2009)。

4. 研究成果

(1) 数学の講義を補完する自習教材の開発
われわれは最初に、数学系の科目における授業時間外の学習を支援するために、授業で扱った学習事項の解説を行うウェブページの作成に着手した。授業時間外の学習では、指定されたテキストや教師が作成したレジュメなどの教材を利用できるが、こうした教材に書かれている内容を理解することは簡単ではない。そこで、これら教材の補足説明を行うウェブページを作成して、学習の助けにしようと考えた。

こうしたウェブページが学生に受け入れられるかを確認するために、線形代数の入門講義を受講していた 4 名の学生に、テキストの第 1 章を解説したウェブページでの学習と、その有用性の評価を行ってもらった。

テキストを補足するウェブページがテキスト理解の助けになったかどうかの評価は、参加者によって異なった。参加者 A と D はとても役に立ったと評価したが、参加者 C と B はあまり高い評価を与えなかった。参加者 B は、実験の前にテキストの内容のほとんど(90%)を理解できており、評価実験にかけた時間が短かったため(50 分)、比較的低い評価になったと考えられた。

テキストを解説するウェブページが他の章でも作成されたときそれを利用するかどうかについて、4 人の参加者すべてが肯定的であった。第 1 章の解説ページの有用性について評価が比較的良かった 2 人(参加者 B と C)も、他の章での解説ページは利用すると答えた。

テキストを補足するウェブページは学生に受け入れられると考えたわれわれは、数学系の科目における授業時間外の学習を支援するために、授業で扱った学習事項の解説を行うウェブサイトと、ウェブでの問題演習システムの作成に着手した。われわれの学部では、数学系の科目を 4 単位(2 科目)取得することが求められている。開講されている数学系科目の中から、比較的多くの学生が履修している、解析学の入門講義を選んだ。この科目では高校数学水準に相当する解析学の基礎を講義している。

学習事項の解説を行うウェブサイトは、授業で配布されているレジュメをもとに作成した。講義を担当する数学教員は、1 回の講義につき A4 サイズ 2 ページのレジュメを作成した。教員は、黒板に板書を行いながら、レジュメに沿って講義を行った。学習事項の解説ページ作成を担当した教員は、毎回の講義に出席し、ノートを取ってレジュメの内容を把握した。1 回の授業をひとつのウェブページとした。

作成したウェブページは、レジュメそのままではなく、加筆を行った。作成したページが数学的に問題ないかどうか、講義を担当す

る数学教員がチェックし、修正を行った。当然のこととはいえ、数学の専門家によって内容がチェックされていることは、われわれの学習サイトの重要な特徴のひとつである。

ウェブページのソースは HTML5 と CSS3 のルールに従って書かれている。数式は MathML で記述した。MathML への対応が十分でないブラウザのために MathJax を用いた。これは、こうしたブラウザで MathML による数式を表示するための JavaScript である。数式を含む教材は、ブラウザで図 1 のように表示される。

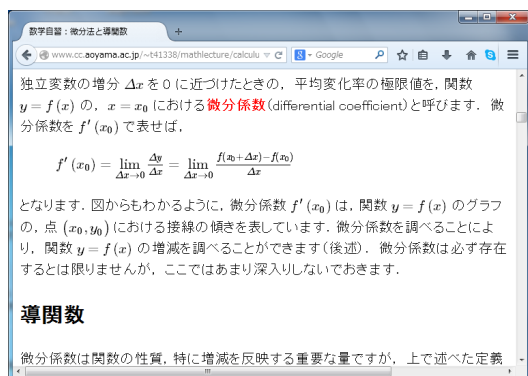


図 1 ブラウザでの数式表示

自習を支援するために、講義で配布されたレジュメでは省略されていた説明を補った。たとえば、「微分法と導関数」のページでは、関数の増減表の書き方を 3 つのステップに分けて解説した。レジュメには完成した増減表だけが示されていた。もちろん、講義を担当する教員は手順を解説しながら増減表を板書したが、最後には完成された増減表が残るので、学生のノートでも手順の記録は明確に残されていないだろう。

ウェブページの素材であるレジュメに加筆したことのうち、最も特徴的であるのは、学習方法のアドバイスであろう。このアドバイスは、数学教員の経験や、学習科学の知見に基づいている。たとえば、「微分法と導関数」のページでは、定数倍、和、差の微分法の公式を示した後で、式を解釈することの重要性を述べている。公式のような形式的ルールは、解釈を行わなければ具体的な問題に適用できない。数学の学習のためのウェブサイトは多く存在するが、学習方法のアドバイスを同時に提示したサイトはおそらくない。

問題演習システムは、e ラーニングシステム Moodle の小テストモジュールとして開発された、STACK (System for Teaching and Assessment using a Computer algebra Kernel) を用いて構築した。STACK は、数式による解答を受け付け、その正誤を評価する。学習者の解答に応じて、異なったフィードバックを返すことができる。解説ページと異なり、このシステムを利用できるのは、現在のところわれわれの学部の学生に限定されている。

問題演習システムに収録したのは、授業中

の演習で用いられた問題である。ただし、STACK での出題という制約から、数値あるいは数式で解答する問題に限られている。微分法を利用して関数のグラフを描くといった、STACK では正誤の判定ができない問題は収録していない。

STACK を用いることの最大の利点は、学習者の解答に応じて、異なったフィードバックを返すことができることであると考えている。この利点を生かして、あたかも Intelligent Tutoring System (ITS) のようにふるまう問題演習システムの作成に取り組んだ。ITS のように問題を解いたり、学習者の知識状態を推測したりはできないが、誤りに応じて「知的な」フィードバックを返すことはできる。たとえば、 t の関数 $t^3 + 2t^2 + 1$ を微分せよという問題では、5 通りの誤りに対して異なったメッセージを返すようにしている（これらに該当しない誤りについてのみ、「もう一度」というフィードバックを返す）。図 2 にフィードバックの例を示す。図の上側の画面では、 $3t^2 + 4$ という誤答に対して、「 $2t^2$ の微分を誤っています。もう一度」というフィードバックを返している。下側の画面では、 $3t^3 + 4t^2$ という誤答に対して、「 t^3 の微分を誤っています。もう一度」というフィードバックを返している。

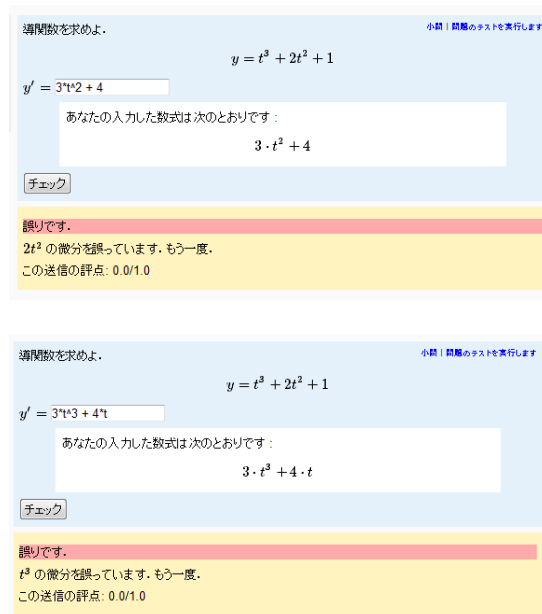


図 2 誤答に応じたフィードバックの例

授業時間内の演習で見られた学生の誤りは、この問題演習システムでなるべく対処できるようにした。しかし、現在のところ、出題している問題に対して学習者がどのような誤りをするか、まだ十分にわかっていない。今後、学習者の解答を蓄積して、フィードバックを改善する予定である。われわれが見落としている誤りがあれば、それに対するフィードバックを追加する。

(2) タブレット端末への教材の移植

開発したウェブ教材および問題演習システムを、タブレット端末から利用できるようにしたいと考えた。高校までの学校教育ではタブレット端末の導入が進んでいる。やがてデジタル教科書が導入されれば、すべての児童生徒はタブレット端末で教科書の学習を行うことになるだろう。タブレット端末に親しんだ学習者が大学に入学してくるようになることを考えると、教材をタブレット端末に対応させておくことは、教材への親しみや利用頻度を高める効果があると期待できる。われわれは、解説教材と問題演習教材という2種類のウェブ教材を開発してきたので、これら両方をタブレットに対応させる方法を考えた。

解説教材は、Apple 社が無償で提供している iBooks Author を用いて、iBooks 用の教材に作り直した。こうして開発した教材は iBook アプリケーションでしか読むことができないという欠点があるが、iBooks Author の「HTML ウィジェット」を利用して、問題演習教材を埋め込むことができるという利点がある。われわれが先に開発したウェブ教材では、解説教材と問題演習教材は、相互にリンクは張られているものの、アクセス先が異なっている。われわれは、紙の書籍でいえば1冊の書籍だけで学習を行うことができるような、使い勝手のよさを求めた。iBooks Author で作成したデジタル教材に問題演習教材を埋め込むことで、解説教材を読み、教材中にあるアイコンにタッチすることで、すぐに問題演習を行うことができるようになった。

(3) その他の研究成果

電子図書館のように多くのデジタル書籍が利用可能なとき、学習者はどのような読書行動を行うだろうか？ 時間と場所を選ばないという、電子図書館の利点を生かした読書行動がみられるだろうか？ こうした疑問から、クラウド型電子図書館サービス MARUZEN-DL を利用した電子図書館サービスを導入し、本学部1年生に多読課題を課す実践研究を行った。

初年度(2013年度)の研究では、多読課題時の利用統計データや、アンケート調査から、電子図書館の利点を生かした読書行動が明らかになった。具体的には、(1) 大学図書館の休館日や閉館中の時間帯に、積極的に活用されていた。(2) 学生は移動中や外出先など、場所を問わず、電子図書館を活用したいと考えていた。(3) 専用の対応が無く、不便な状況であっても、スマートフォンで利用する学生が一定数存在した。

初年度の実践では、サイトのトップページ等、見つけやすい所から電子書籍が選択されているため、一部の電子書籍に貸出が集中してしてしまうという問題が生じていた。そこで次年度(2014年度)は、文学ジャンルの電

子書籍を対象に特集を行った。ここで言う特集とは、トップページ上で、H.G.ウェルズの著書やシェイクスピアの著書など、あるテーマに沿って集めた4~7冊程度の電子書籍を1~2日毎に切り替えつつ、掲載するという運用上の工夫である。これにより、貸出集中の問題はある程度解消された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

1. 飯島泰裕・吹春俊隆・寺尾敦・上野亮、電子図書館を活用した多読教育の研究、青山社会情報研究、査読なし、8巻、2016、67-74
2. 伊藤一成、HTML5 を体感的に学習できるコンテンツ GOSEICHO (5成長)、モバイル学会誌、査読有、5巻、2015、21-26
3. 飯島泰裕・宮治裕・伊藤一成・寺尾敦、大学教育における電子図書館の活用、青山インフォメーション・サイエンス、査読有、42巻、2014、24-34

[学会発表](計 22 件)

1. 寺尾敦、中等教育での教職科目におけるデジタル教科書の利用方法の教育、日本デジタル教科書学会第5回年次大会、2016年8月21日、京都産業大学むすびわざ館(京都市・下京区)
2. 伊藤一成、コンピュータサイエンス教育導入へ向けての「デジタル教科書」からの移行、日本デジタル教科書学会第5回年次大会、2016年8月20日、京都産業大学むすびわざ館(京都市・下京区)
3. 上野亮・飯島泰裕、多読課題に対する大学生の電子図書館利用状況に関する考察、日本計画行政学会・社会情報学会共催第10回若手研究交流会、2016年3月12日、青山学院大学青山キャンパス(東京都・渋谷区)
4. 寺尾敦、2画面タブレットでのデジタル教科書使用の提案、日本デジタル教科書学会第4回年次大会、2015年8月12日、ノボテル札幌(札幌市・中央区)
5. 伊藤一成、HTML5 を体感的に学習できるコンテンツ GOSEICHO (5成長)、モバイル学会モバイル 15、2015年3月13日、名古屋大学(名古屋市・千種区)
6. 上野亮・飯島泰裕、利用者調査から見る大学生の電子図書館活用方法に関する考察 多読課題をケーススタディとして、2014年社会情報学会(SSI)学会大会、2014年9月21日、京都大学吉田南キャンパス(京都市・左京区)
7. 寺尾敦・矢野公一・高村正志・伏屋広隆、初等解析学の講義を補完するウェブ教材の開発、2014 PC Conference、2014年8月9日、札幌学院大学(北海道・江別市)

〔図書〕(計 1 件)

1. 藤澤伸介(編) 寺尾敦 他、新曜社 探
求! 教育心理学の世界、2017、56-59

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

数学自習サイト

<http://www.cc.aoyama.ac.jp/~t41338/math/mathlecture/mathlec.html>

MATLAB プログラミング入門

<http://www.cc.aoyama.ac.jp/~t41338/lecture/senshu/info.html>

C 言語の学習

<http://lecture.ecc.u-tokyo.ac.jp/~lterao/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

寺尾 敦 (TERAO, Atsushi)

青山学院大学・社会情報学部・准教授

研究者番号: 40374714

(2)研究分担者

伊藤 一成 (ITO, Kazunari)

青山学院大学・社会情報学部・准教授

研究者番号: 20406812

宮治 裕 (Miyaji, Yutaka)

青山学院大学・社会情報学部・准教授

研究者番号: 30255236

飯島 泰裕 (Iijima, Yasuhiro)

青山学院大学・社会情報学部・教授

研究者番号: 50262548