

テスト理論の教育を目的とした学習支援システムの開発

川又 泰介[†] 藤田 風志[†] 赤倉 貴子^{††}

[†] 東京理科大学大学院工学研究科, 東京都葛飾区新宿 6-3-1

^{††} 東京理科大学工学部, 東京都葛飾区新宿 6-3-1

E-mail: [†]{4417701,4418520}@ed.tus.ac.jp, ^{††}akakura@rs.tus.ac.jp

あらまし 近年の情報技術の進展は、人と機械のインタラクションを著しく向上させ、人間を系に含むシステムの開発に関する知識を持った人材の育成が重要となっている。本稿ではその中で、テスト技術者の養成に視点を置き、工学と人間科学の知識を兼ね備えたテスト技術者を育成するために、テスト理論と実験用のテストシステム開発に関する学習支援システムを開発した。

キーワード e テスティング, 項目反応理論, 実験科目

Development of a Learning Support System for the Education of Test Theory

Taisuke KAWAMATA[†], Kazashi FUJITA[†], and Takako AKAKURA^{††}

[†] Graduate School of Engineering, Tokyo University of Science, 6-3-1, Niijuku, Katsushika-Ku, Tokyo, 125-8585 Japan

^{††} Faculty of Engineering, Tokyo University of Science, 6-3-1, Niijuku, Katsushika-Ku, Tokyo, 125-8585 Japan

E-mail: [†]{4417701,4418520}@ed.tus.ac.jp, ^{††}akakura@rs.tus.ac.jp

Abstract The role of e-testing technology has dramatically increased in recent years, heightening the importance of test theory education. We have therefore developed learning support systems which contains a virtual experimental environment and a learning support system for programming.

Key words e-Testing, Item Response Theory, Lab Lesson

1. 研究背景

コンピュータを用いて実施される e テスティングは試験の実施における時空間コストを削減することが可能であり、企業の採用試験や通信教育機関の定期試験などで用いられている。近年はテスト理論 [1] [2] の発達もあり、受験者に適した問題の自動出題による出題項目数の削減など、従来のペーパーテストでは到底不可能なサービスの提供が可能になった。このことから、それらの技術を支える教育工学者の育成も重要である。e テスティングシステムの開発にはインタフェースと出題制御機能に関する知識が必要となる。もちろん、実教育組織においてシステム開発者が双方の実装に携わることは少ないが、学術分野の研究では双方の実装を学生が担う必要がある。さらに、教育工学では系に人が含まれるため、人間工学に基づいた実験計画能力を要する。殊に近年の情報技術の著しい発展は、人と機械のインタラクションの重要性にあらためて気づかされ、人と機械のインタラクション研究は益々盛んである。こうした背景の下での e テスティング技術者の養成は喫緊の課題である。そのた

め、著者らは e テスティングシステムに関する実験系科目の実施を検討することにした。

工学部における実験系の授業は、講義で習得した理論を実環境に応用することで、抽象的な知識を具体的な対称形に結び付けるという目的がある [3] [4]。例えばテスト理論の 1 つである項目応答理論 (IRT ; Item Response Theory) はベイズの定理に基づいており、その確率的な挙動を理解するためには模擬実験に合わせて、実環境における観測が不可欠である。実際の人々が持つ確率的な要因を観測することで、学習者は数式の羅列を実際の環境に結び付けることが可能となる。

ただし、予め提供された実験手順を記した手引書に従い実験を行った場合、学習者は意味を十分に考えずに手引書に従い実験を行う可能性がある [4]。特に本研究は理論実装とインタフェース開発において大量のソースコードを記述する必要があるため、主となる人を対象とした実験が疎かになり、授業の理解度・満足度が低下する要因となりうる。そこで本研究では、手引書に加えて学習の補助となる教材を e ラーニング上で提供する学習支援システムについて検討する。

2. 先行実践

本章では 2018 年度に実施した実験科目について、教授内容と実験の概要、および授業の実践結果について述べる。

2.1 教授内容

2.1.1 項目応答理論

能力 θ を持つ受験者が問題 i に正答する確率 $P_i(1|\theta)$ は式 (1) のようにモデル化されている [1].

$$P_i(1|\theta) = (1 + e^{-1.7a_i(\theta - b_i)})^{-1} \quad (1)$$

a は識別力、 b は困難度と呼ばれる。また、問題に正答したとき 1、誤答した場合には 0 となる変数 x を定義する。応答確率 $P_i(x|\theta)$ は式 (2) で定義される。

$$P_i(x|\theta) = P_i(1|\theta)^x (1 - P_i(1|\theta))^{1-x} \quad (2)$$

このとき、能力値 θ は正誤系列 $\mathbf{X} = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_N)$ と仮説分布 $P(\theta)$ を用いて以下のように推定できる [2].

$$\hat{\theta} = \arg \max_{\theta} P(\theta) \prod_{i=1}^N P_i(x_i|\theta) \quad (3)$$

推定値 $\hat{\theta}$ の誤差は式 (4) に従う。

$$se_i(\hat{\theta}) = I(\hat{\theta})^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$I(\theta)$ は情報量と呼ばれ、式 (4) で計算できる。

$$I(\theta) = \sum_i D^2 a_i^2 P_i(1|\theta)(1 - P_i(1|\theta)) \quad (5)$$

この情報量に従い、推定値に対する情報量が最も大きい項目を逐次選択し続ける出題は以下の式により可能となる。

$$i_{\text{next}} \leftarrow \arg \max_i D^2 a_i^2 P_i(1|\hat{\theta})(1 - P_i(1|\hat{\theta})) \quad (6)$$

これを適応テストと呼ぶ。

2.1.2 システム開発

前述の理論を実環境に応用して学習するために、理論に加え問題の選択・出題機能を実装する。図 1 は作成するシステムの構成であり、実装には PHP と仮想サーバを用いる。理論 (モジュール) の実装方法は手引書に掲載されているが、それらを組み合わせて目的のシステムを開発する方法、例えばテストシステムに能力を推定する機能を実装するなどの方法論については課題とされており、学生がそれぞれ検討した上で課題を解く。

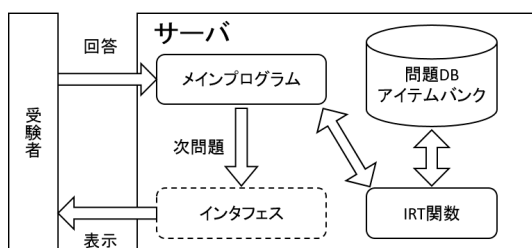


図 1 目標とするシステム構成

2.2 実験

実験の対象となる学習者は情報工学科に属する学部 3 年生 90 名程度である。学習者は 2 年次後期に IRT の基礎を学習し、Excel を用いた実習を行っている他、フレームワークを用いた PHP の実装を経験し、3 年次前期の実験では本実験と同時期に最短経路問題やパターン認識の課題に取り組む。実験は 1 回 2 コマ分 (180 分) を 3 回行い、各回において実験結果をレポートとしてまとめ提出する。また、全ての実験を終えた後に実験内容をポスターにまとめて発表する。

- 項目反応理論の実装
- 能力測定システムの実装
- 適応テストシステムの開発

2.3 実験の課題

2018 年度は情報工学科の学生 78 名が本実験を受講した。授業についてはレポートの感想欄より「簡単なインターフェイスで能力値の測定を行えたことに新鮮味を覚えた。それと共に、今まで座学のみだった理論の世の中への応用を確認することができた。」という感想も得られた。一方でレポートを採点した結果、1 回目のシミュレーション結果の考察に関して高い点数を得ているにもかかわらず、2 回目のシステム開発が期限内に終了せず評価が低い学生も見られた。このことから、手引書に記載された実験装置のソースコードを書き写すという形式が学習者の負担となり、人間系と確率論の関係性を十全に意識させることはできなかったといえる。これについては実装を簡易化すれば解決するが、本実験で扱ったソースコードは本実験を達成する上で最低限に近く、単純にコードや課題を削減することは難しい。そのため本稿では、実装作業の負担に関する問題を実験に対する動機付け問題に置き換え、以下について検討を行う。

理論の実装において重要となるのは、実装によって表示された数値の意味合いを意識するという点である。例えば R や Python はデータの可視化ツールがほぼ標準で搭載されているため、関数の挙動を把握するのは容易である。一方で Java や PHP などでは、特殊なライブラリをインストールするか、Javascript や Excel などにデータを入力して可視化する必要がある。前者は学習者の実装環境にばらつきがあった場合に説明が膨大になるため、教授者側に対してコストが大きい。後者は出力された数値が静的であるため、例えば逐次情報処理を表現するには不適である。そこで、理論学習については数値関係の可視化を重視し、学習者の入力に対して動的にデータを可視化する教材を作成する。

アプリケーションの実装において重要となるのは、バグが発生したときに検索システムを活用するなどの情報収集能力と、OS や開発環境、ハードウェアへの習熟などの個人技能である。例として、バグが発生した場合にどのような用語で検索を行うか、開発における利便性の高いデバッグは何かなど、これらは一般的に学生の自学によって会得すると考えられ、教科書や手引書に掲載するのは限界がある。そこで、主教材については作業分担を許可し、本実験で用いるプログラミング技術はテキスト系の e ラーニングシステムを用いる。加えて、プログラミング以外に関する技能面については映像教材を用いる。

3. 方法論

先行実践での課題を踏まえ、2019年度用に授業内容を変更し、手引書とは別に補助教材を準備した。

3.1 実験の構成

実験構成は以下のように変更した。

- IRTの実装
- 問題出題システムの開発
- 能力測定機能の実装

1回目の実験題目は前年と同様に理論実装と仮想実験を主とした。ただし、前年は3回目に説明していた情報量と適応テストを第1回にまとめて説明する。2回目の実験はテストシステムの開発と実環境での実験をメインとし、前年に課題として扱っていた理論の応用は省いた。3回目の実験は、2回目の実験で作成したシステムにIRTを実装して実験を行う。

3.2 開発した教材

3.2.1 手引書

図2は主教材となる手引書である。手引書はLaTeXで作成され、学習者には実験の2週間以上に配布される。QRコードが掲載されており、学習者はスマートフォンで理論に関するeラーニングを閲覧することが可能である。

実装は基本的にPHPで行うが、インタフェースの一部はJavascriptで行い、最終的には図3を作成する。また、課題では被験者の属性や学習志向などを問うこととし、被験者の人間性と能力値の関連を考察させ、結果の原因が人間工学上の問題である点を意識させる。

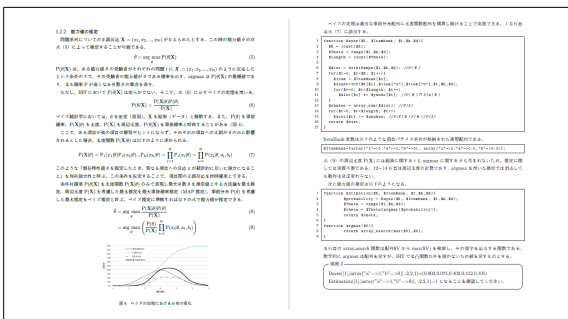


図2 手引書

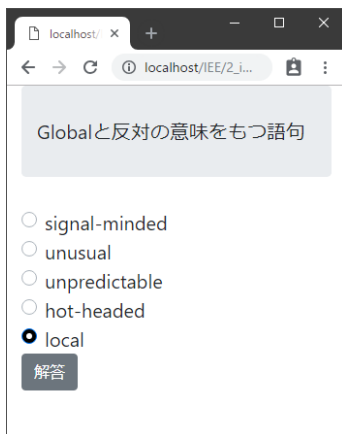


図3 目標とするテストインタフェース

3.2.2 モバイル端末用eラーニングシステム

システムのインタフェースはHTML5とCSSで、制御部はJavascriptで記述した。理論系の副教材はスマートフォンでの利用を想定しており、インタフェースについてはBootstrap [5]を、データの可視化についてはChart.js [6]を用いた。

例えば、図4は項目反応理論をベースとした実験シミュレータである。ここで、学習者は最初に「問題を増やす」ボタンで識別力 a と困難度 b をパラメータとして持つ仮想項目を作成することが可能であり、パラメータの変更や項目の削除を行うことでテストを構成する。また、項目の設定を変更するごとに、設定したテスト構成で想定される能力値の測定誤差(テスト情報量)が視覚化される。学習者はテストを構成したのち、画面下部に設定した仮想的な受験者の能力値を推定する。仮想受験者は正規分布に基づいて生成した能力値 θ を持ち、項目に対しては式(1)に基づいて確率的に反応する。この「試験構成」と「能力の推定実験」を繰り返すことで、人間の確率的な動作を意識し、「テスト構成」と「適応テスト」の発想 [2] を自律的に獲得できることを期待している。



図4 仮想実験環境

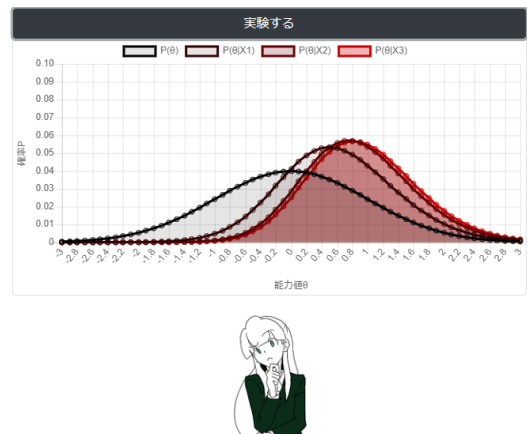


図5 能力測定実験

3.2.3 PC用eラーニングシステム

システム開発の補助教材は関連研究 [7] で開発したシステムをベースに、図 6 に示す Web アプリケーションの開発教材と、図 7 に示す映像教材を実装した。システムのインタフェースは HTML5 と CSS 及び Javascript で、サーバは Mac mini, 制御部は PHP5, データベースは SQL で記述した。実装系の副教材は PC での利用を想定しており、eラーニング中は学習者の行動ごとにログをサーバに送信する。

図 6 の教材は主教材に掲載されていないデータベースや Javascript の演習などが含まれ、さらなる応用を望む学生や、インタフェースを重視する学生の利用を想定している。図 7 の映像は RT プログラミングの実演であり、実装画面と手元を撮影した映像を合成している。また、図 7 下部に示すように映像の特定領域をブックマークとすることができる [8]。



図 6 Web アプリケーションの開発を支援する教材

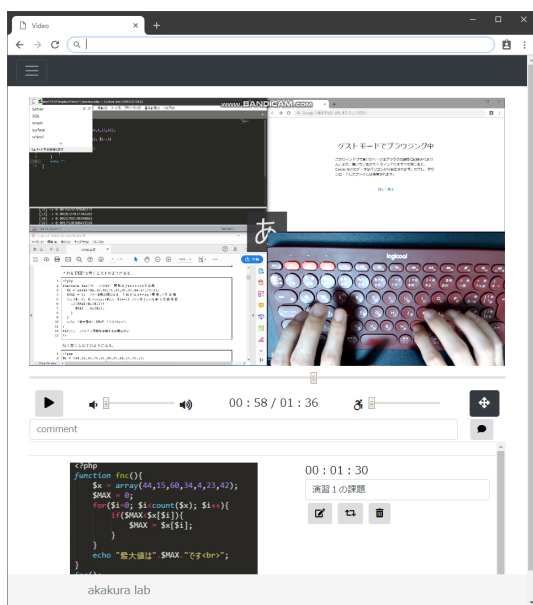


図 7 VOD 型 eラーニングシステム

3.3 評価方法

システムの利用によって実験の意義を理解できたか、または IRT と実際のテストの関係を意識できたかを問うために、学習者に対して、eラーニングの利用頻度と本授業の満足度、IRT についての理解度を問い、利用の有無と満足度・理解度間の相関で評価する。学生には授業の前に eラーニングについて説明し、授業中の説明資料としても開発したシステムを活用する。

4. 総 括

近年、オンラインテスト (e テスティング) の発達により、人間を系に含むシステムの開発に関する知識が必要となる。本稿では e テスティング技術者を育成するために、実験科目の授業設計を行い、補助教材となる eラーニングシステムを開発した。システムでは理論系の補助教材として仮想実験環境を提供し、応用系の補助教材としては Web アプリケーションの学習テキストとプログラミングの実演を提示する。

ただし、これらの機能をすべて運用するのは管理が難しいため、今後は開発したシステムについて予備実験を行い、機能の効果を明らかにしたうえで取捨選択していく。その上で本授業を実践し、テスト技術者に対する興味の向上を評価する。

謝 辞

本研究の一部は、平成 28~31 年度科学研究費補助金挑戦的萌芽研究 (課題番号 16H03086: 研究代表者 赤倉貴子) 及び東京理科大学教育開発センターの助成によるものである。

文 献

- [1] 植野真臣, 永岡慶三, e テスティング, 培風館, 2009.
- [2] 赤倉貴子, 柏原昭博, eラーニング/e テスティング, ミネルヴァ書房, 2016.
- [3] 鈴木好夫, 大原礼一郎, "WWW (World Wide Web) を用いた仮想実験支援環境の構築," コンピュータ&エデュケーション, vol.7, pp.111-116, 1999.
- [4] 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋 宗, 竹内 章, "実験方法の考案による学習を支援する仮想実験環境の構築," 教育システム情報学会誌, vol.24, no.2, pp.83-94, 2007.
- [5] M. Otto, J. Thornton, "Bootstrap," <https://getbootstrap.com/>, 参照 Mar 2019.
- [6] "Chart.js," <https://www.chartjs.org/>, 参照 Mar 2019.
- [7] 赤倉貴子, 川又泰介, 加藤浩一郎, "さまざまな学習支援システムを利用した工学部における知的財産法教育の実践," 工学教育, vol.67, no.1, pp.75-80, 2019.
- [8] K. Fujita and T. Akakura, "Development of an Asynchronous E-Learning System in Which Students Can Add and Share Comments on an Image of a Blackboard," 20th International Conference, Held as Part of HCI International, Vol. LNCS10905, 2018.