

OnlineIRTによるweb版経済学部入学前教育(数学) システムの開発について

平山克己・隈本 寛

The Development of Web Mathematic Training System Before Admission Using Online IRT(Item Response Theory)*

Katsumi HIRAYAMA · Satoru KUMAMOTO

平成30年度に「Online IRT(Item Response Theory)を用いた経済学部入学前教育(数学)システムの構築」、平成31年度に「Online IRT(Item Response Theory)を用いた経済学部入学前教育(数学)システムの実装と汎用化の検討」という研究課題名で学長選考型研究費が採択された。筆者らは、従来冊子を配布し、解答、添削、返送していた入学前教育をWeb上で解答できるOnlineシステムの開発を行ってきた。本論文では、本システム開発の目的および開発に至るまで経緯について述べる。また、本システムの紹介と本システム導入による今後の利用方法についても述べていく。

本システムの最大の特徴はこれまで分からなかった入学前の高校生の学習状況や進捗状況を把握できる点である。また、本システムを利用する学生の数学能力や出題した問題の難易度を推定することができる。さらに、推定した学生の数学能力に応じて出題する問題を選ぶことができるようになる。出題した問題の難易度や学生の数学能力データも蓄積することができる。今後、蓄積したデータはIR(Institutional Research)にも応用可能であると考えられる。

1. はじめに

経済学部では2012年から推薦入学合格者を対象に入学前教育を行ってきた。推薦入学の対象学生は商業科、情報科、ビジネス科などの出身で数学Iと数学Aしか受講していない。これでは経済学部で必要とされる数学知識を習得しているとはいえない状況で数学を苦手とする学生も多かった。そこで、入学前教育として数学Iの問題冊子を配布して解答してもらい添削し返送する形式を取ってきた。また、入学時にプレイズメントテストを行い、能力別のクラス分け講義を行ってきた。さらに、プレイズメントテストで低い得点の学生には補習授業を行ってきた。

これまでの入学前教育、プレイズメントテストや補習授業は一定の成果を上げていると考えるが、十分ではない。その理由は次の3点が挙げられる。1点目は入学前教育の冊子添削は学生アルバイトが行っているため、高校生がどのような問題につまづいているのか? 昨年と今年の傾向はどう違うのか? 全体的な傾向はどのように推移しているのか? などのノウハウが蓄積できていない。2点目は入学前教育は冊子を配布して解答してもらう形式なので、自力で解答しているのか?

高校の先生に教えてもらっているのか? が不明であった。3点目は入学前教育は大学の管理下にないので自発的な学習を促進し難かった。

そこで、オンライン項目応答理論(IRT)[1]を応用した入学前教育(数学)システムを構築することを考案した。IRTはテストにおける受験者の応答パターンを用いて、形式や難易度が異なるテストの結果を比較するための理論である。また、IRTはTOEICやTOEFLなど英語の試験でも利用されており、センター試験の後継となる大学入学希望者の学力を評価するテスト(大学入学共通テスト)でも使われる予定となっている。

経済学部の入学前教育システムは広島工業大学(HIT)で構築されたIRTシステムを参考にして開発した。HITのシステムは学習進捗状況チェックテスト(LCT)、補習テスト(FPT)と共同作業によるテスト(CWT)のサブシステムから構成されている。このシステムではテスト結果をIRTで分析し、学生の能力ポートフォリオに応じた補習クラスを受講するように設計されている。

さらに、通常の講義(数学)の中でも学習進捗状況をテストするシステムも構築している。HITではこのシステムを構築するために数百万円の予算を掛けたそうだ。経済学部の入学前教育はHITのような大規模システムではなく入学前教育システムとして半分以下の

予算で構築することができた。

本研究の第一目的はIRTを応用した入学前教育(数学)学習進捗状況チェックシステムの構築である。このシステムを構築すれば、推薦入学で合格した高校生の学習進捗状況を把握することが可能となる。また、高校生がどのような問題でつまづいているのか? 全体的な傾向はどのように推移しているのか? など入試にも関連する情報を蓄積することができる。さらに、最大のメリットは入学前教育(数学)データの蓄積である。推薦入試の合格発表は12月中旬に行われ、従来の数学問題冊子の解答締め切りは2月末である。従来のやり方では12月中旬から2月末までの約3か月間の学習状況は全く分からなかった。しかし、本システムはOnlineで繋がっているため推薦入学合格者はどの時期にどれ位学習しているのか? また、どのような問題を苦手としているのか? 正解率はどれくらいか? 等のデータを蓄積することができる。このような蓄積したデータはIR(Institutional Research)にも貢献できると考える。

本研究の第二目的は蓄積されたデータを人工知能(AI: Artificial Intelligence)に学習させ、IRTに反映させることである。廣瀬教授のIRTは確率的なベイズ推定を用いてIRTを動作させるアルゴリズムが組み込まれている。ベイズ推定をAIに置き換えることにより画期的なIRTシステムを構築することができる可能性がある。

最後に、本研究の入学前教育(数学)にIRTを利用したシステムを構築することができれば、IRTを利用したシステムに関するノウハウを蓄積することができる。このノウハウは他学部への入学前教育や大学教育におけるIRTの導入など横展開も期待している。

2. IRT について

本章では、入学前教育システムのIRTについて説明する。ここで、学生を i とし、学生の能力を θ_i とする。ただし、 $i=1\cdots N$ 、 N は入学前教育登録ユーザー数とする。次に、学生が解く問題を j とする。 $j=1\cdots M$ とする。学生 i が問題 j に正解する確率を P_{ij} とすれば(1)式のようなロジスティック関数¹で示される。ここで、 a_j, b_j は識別パラメーターと呼ばれ、 a_j が大きくなると問題 j は識別しやすい(適切な問題である)ことを示している。一方 b_j は問題の難易度を表す識別パラメーターで、 b_j が大きい値を取ると、問題が難しいことを表している。このとき、学生 i が問題 j に誤答する確率を Q_{ij} とすれば、 P_{ij} は(2)式ようになる。

¹ロジット関数 $f(p) = \log \frac{p}{1-p}$ の逆関数でその逆関数を平行移動、拡大縮小したものも含めて表現した関数。

$$P_{ij}(\theta_i; a_j, b_j) = \frac{1}{1 + \exp\{-1.7a_j(\theta_i - b_j)\}} \quad (1)$$

$$= 1 - Q_{ij}(\theta_i; a_j, b_j) \quad (2)$$

さらに、全ての問題に対する正解の可能性を L で表すと、(3)式ようになる。ここで、 δ_{ij} は学生 i が問題 j に正解したとき $\delta=1$ となり、不正解のとき $\delta=0$ となる。

$$L = \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^M (P_{ij}^{\delta_{ij}} \cdot Q_{ij}^{1-\delta_{ij}}) \quad (3)$$

(2)式、(3)式から L は(4)式のように表せる。

$$L = \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^M P_{ij}^{\delta_{ij}} \cdot (1 - P_{ij}^{1-\delta_{ij}}) \quad (4)$$

ここで、学生 i が問題 j に正解したかどうかの結果 δ_{ij} から、 L を最大化するように θ_j, a_j, b_j を推定しようとするのがIRTのアルゴリズムとなっている。

ただし、本システムは本年度リリースのため、 L を推定するための θ, a_j, b_j の情報がない。そこで、今年度リリースの入学前教育システムではIRTを用いずランダムに出題し、 θ, a_j, b_j の初期値を取得するため元データとすることにした。来年度以降はIRTによる出題ができるようにアルゴリズムを改良していく予定である。

3. 開発に至るまでの経緯

ここでは、入学前教育(数学)システムの開発に至るまでの経緯について述べる。本システムを開発する上で、大きな障壁が二つあった。この障壁については後進のため、ここに記録として残しておく。

一つ目は開発業者の選定である。学長裁量経費は限られており、限られた予算内で開発してくれる業者を探すのは困難を極めた。情報総合センターにも業者の斡旋をお願いしたが、この金額では難しいとの回答だった。そこで、アイミツ[2]にユーザー登録し、仕様と開発金額を入力すると約1週間で3社から見積もりをもらった。いずれの会社も実績のあるシステム開発業者だったが、最も信頼できそうなコアソフト社を選定した。

しかし、学長裁量経費を管理している研究支援課にコアソフト社の見積もりを提出すると、北九州市内のシステム開発業者の相見積もりを取らなければ認められないのではないか? 独立法人化したのにも係わらず、旧態依然として北九州市の慣例にしたがっているのがあった。また、特別研究推進費の申請書類や研究不正防止計画には北九州市内のシ

システム開発業者を選定しなければならないという事項はどこにも掲載されていない。結局、北九州市内のシステム開発業者2社からも見積もりを出してもらったがコソソフト社の金額には到底及ばなかった。このような出来事から開発スタートが大幅に遅れ、開発期間を短縮せざるを得ない事態を招いた。

二つ目は、問題分割のアルバイトに関する障壁である。この論文は $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ [3]という無料の組版ソフトを使って執筆した。従来の入学前教育(数学)の冊子も $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ で書かれていた。付録に平成30年度の入学教育(数学) $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ のソースコードの一部を掲載した。このソースコードからもわかるように $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ は全てコマンドベースの組版ソフトウェアである。一昔前は $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ のシステムをインストールするだけで一苦労していたが、最近では $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ Live[4]というパッケージが用意されておりWindowsでもMacでも簡単にインストールすることができた。

過去7年分の入学前教育(数学)の問題と解答合わせて約1400問を個別のファイルに分割する作業を1年半で延べ7名の協力してくれるゼミ生にお願いした。しかし、学部生の報酬支払いの手続きも変更され、事前に作業実施計画を研究支援課に提出(しかも、記入内容は全て手書きの上押印)しなければならなくなった。また、実績も手書きの上、押印して提出しなければならなくなった。このような煩雑な手続きを嫌ってアルバイトをお願いした7名の内2名はリタイヤした。

このような障壁があったが、各部署の協力やゼミ生の協力もあり何とかこれらの障壁を乗り越えることができた。

4. web版入学前教育システムの紹介

ここでは、web版経済学部入学前教育(数学)システムの画面や機能について述べる。本システムは2019年12月20日にリリースした。本システムは入学前の学生が問題に解答する出題解答機能と管理者がユーザー(推薦入学合格者)、問題、解答をコントロールする管理機能の二つに分けられる。各機能の詳細は次節で説明する。

4.1 出題解答機能について

推薦入学の合格発表は2019年12月13日に発表され、本システムは同年12月20日にリリースした。予め推薦入学合格者にログインIDは受験番号であり、パスワードは別途送付する旨、入学手続きの書類に同封し通知していた。パスワードを別途送付することになった理由は次の三つからだった。

一つ目の理由は「合格発表をする前に内部といえども合格者情報を出すわけにはいかない」という事情だった。二つ目の理由は「既に用意した入学手続きの

書類が入った封筒にIDとパスワードを封入して間違えがあった場合に困る」という事情だった。三つ目の理由はシステム上のトラブルによる事情だった。一つ目と二つ目はいずれも入試広報センターの事情だが、これらの事情には改善の余地があると考ええる。一つ目の理由は合格発表前に合格者の情報が洩れてはならないというセキュリティ上の問題なので仕方がない面もある。しかし、二つ目の理由はIDとパスワードを印刷した書類を1枚封入するだけの作業をするのとは、送料の面から見てかなり無駄なコストをかけている。入学手続きの書類は差し込み印刷²を使って、宛名ラベルと合格者氏名が印刷された書類を印刷しているはずである。したがって、本システムのログインIDとパスワードも宛先ラベルと一緒に印刷し、同封すれば送料のコストを削減できるはずである。今後、来年に向け入試広報センターと協議していきたい。

ともあれ、推薦入学合格者にログインID、パスワードとURLを別送し、推薦入学合格者がURLにアクセスすると図1のようなログイン画面が表示される。「初めてログインする人はこちら」ボタンを押すと図2のような登録画面が表示される。



図1 初回ログイン画面



図2 登録画面

登録画面では受験番号(ログインID)、氏名、メールアドレス、電話番号とメールアドレスを入力するよう

²案内文など作成の際、文面が同じで、住所や氏名など一部だけが異なる文書を作るときに使うMicrosoft Wordの機能

になっている。別送したログインIDとパスワードを入力するとユーザ登録が完了する。ユーザ登録が完了すると登録したメールアドレスにユーザ登録完了のお知らせが送信される。

ユーザー登録後、ログインIDとパスワードを図1に入力すれば、図3のような問題選択画面が現れる。この画面ではすでに合格した単元には「合格」、合格していない単元には「もう一度」、一問も解答されていない単元には「未解答」と表示され、「もう一度」と「未解答」の単元は再度選択できるようになっている。また、図1でパスワードを忘れた場合をクリックすると図4の画面に変わり、パスワードの再発行ができる。



図3 問題選択画面



図4 パスワード再発行画面

推薦入学合格者は好きな単元から始め、合格するまで何度でも挑戦することができる。また、再挑戦の際には過去7年分の入学前教育の数学冊子の問題が収録されており未解答の問題が出題される。

単元を選択すると、まず、図5のような例題とその解き方が表示される。図5は単元が因数分解の例題である。次に「練習問題」ボタンを押すと画面が切り替わり図6のような画面が表示される。図6は単元が二次関数とグラフの練習問題である。ユーザは下の選択肢から解答を選び「次へ」ボタンを押すと正解か否かをシステムが判断する。

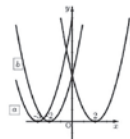
正解なら、次の問題に進み、不正解なら図7のよう

に正解が表示してから次の問題に進む。図7は図6が不正解だった場合の解答を示している。不正解の場合も「次へ」ボタンを押せば選択した単元の問題を続けることができる。なお、各単元の可否は次節で延べるように単元毎に設定できる。



図5 例題画面

問題 2.2: 次の二次関数のグラフを(1)から(3)のどれかを選んで答えよ。また、頂点 (a, c) を答えよ
(1) $y = x^2 + 2x + 2$



解答



図6 解答画面

問題2.2.2の正解は以下通りです。
問題 2.2.2: 解答
(1) $y = x^2$ のグラフを x 軸方向に -2 だけ平行移動させたもの、グラフは下図

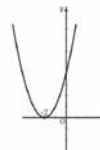


図7 正解画面

4.2 管理機能について

管理機能は、単元管理、問題解答管理、ユーザ管理と解答分析の4機能を備えている。図1から管理者IDとパスワードを入力すると図8の画面が表示される。

画面左側に各機能の選択ボタンが配置され、単元、問題解答、ユーザーと解答分析のボタンが並んでいる。右側には「ユーザー」、「管理者」と「削除済」の登録者数と「一覧」ボタンが配置されている。管理者IDでログインしたときの初期画面は、「ユーザー」ボタンを押したときと同じ画面である。



図8 管理者画面

ここで、左側の単元管理のボタンを押すと図9の画面が表示される。



図9 単元管理画面



図10 例題更新管理画面

図9の「編集」ボタンを押すと図10の画面に変わり、新しい単元を登録したり、単元の合格率を設定したり、例題ファイルの更新(アップロード)ができたります。ここで、図10は単元が因数分解の「編集」を押した場合の画面である。もちろん、「削除」ボタンで



図11 ユーザー情報一覧画面

単元を削除することもできる。

次に、左側に並んだ「ユーザー」ボタンを押すと図8の画面が表示される。ここで学生の「一覧」ボタンを押すと図11のように、登録されたユーザの一覧が表示され編集や削除ができる。さらに、図11で「編集」ボタンを押すと図12の画面に変わり、ユーザー情報を更新することができる。



図12 ユーザー情報編集画面

図13 解答分析画面

最後に、解答分析ボタンを押すと図13のような画面

が表示される。この画面はユーザが出題された問題に対し、未解答、正解もしくは誤解答を一覧できる機能である。この一覧は縦にユーザIDが並び、横に約700問の問題に対して、正解であれば2、誤解答であれば1、未回答であれば0となっている。また、この一覧はcsv形式でダウンロードできるようになっている、

2019年12月30日時点で登録されたユーザー数は34名だった。この中で最も正解が多い学生は37問に正解し、2問の誤答があった。その他の学生も正解数が誤答数を大幅に上回っていた。

5. 今後の予定と課題

現段階では、本入学前教育システムにIRTは搭載されていないが、本年度の解答結果を使って θ_i, a_j, b_j を推定することができる。この推定値をもとに、次年度はユーザーの能力値 θ_i に応じて出題することができるようになる。また、図13の解答分析結果は手動でダウンロードしなければならないが、これも一定時間ごとに自動的にダウンロードする機能を追加する予定である。さらに、ある程度データが蓄積できればAIを使って θ_i, a_j, b_j を推定する機能も追加したい。

6. おわりに

2年にわたり、web版Online入学前教育システムを構築してきた。システムの設計から開発業者の選定や従来の問題冊子から問題ごとのファイル分割など様々な障壁があったものの何とか形になってきた。今後、さらに機能を追加しながらIRに貢献できるシステムとしていきたい。

参考文献

- [1] Hideo Hirose,[2016],Meticulous Learning Follow-up Systems for Undergraduate Students Using the Online Item Response Theory, 5th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics pp.427-432.
- [2] アイミツ,<https://imitsu.jp/>
- [3] 奥村 晴彦,[2006]LATEX2 ϵ 美文書作成入門 改訂第4版,技術評論社
- [4] T_EX Live Wiki, <https://texwiki.texjp.org/>

付録 LATEXソースコード

```

\twocolumn[
\vspace[-12mm] \includegraphics*[Eco.eps]

\vspace[-18mm]
\hspace[18mm] 入学前教育問題解答 \hspace[85mm] 平成30年度入学生用

\vspace{10mm}
\hrulefill {}
\begin{spacing}[1.4]
\hspace[-4mm]{\bf 問題1.1}{}
$(1) \text{ (与式)} = \text{bm}[5x^2y(2y^2+3)]$ {}
$(2) \text{ (与式)} = \text{bm}[(4x+3)(x+3)]$ {}
$(3) \text{ (与式)} = \text{bm}[(5x+7)^2]$ {}
$(4) \text{ (与式)} = \text{bm}[(12x+13y)(12x-13y)]$ {}
$(5) \text{ (与式)} = 3 \cdot 2x^2 + (3 \cdot 5 + 2 \cdot (-7))x + 5 \cdot (-7)$ {}
\hspace[17.3mm] = \text{bm}[(3x-7)(2x+5)]$ {}
$(6) \text{ (与式)} = (2x)^3 - (3)^3 = \text{bm}[(2x-3)(4x^2+6x+9)]$ {}
$(7) (x-y) = A \text{ と置くと, }$ {}
\text{ (与式)} = 2A^2 - A - 3 = (2A-3)(A+1)$ {}
Aを元にもどすと, {}
\hspace[17.3mm] = \text{bm}[(2x-2y-3)(x-y+1)]$ {}
$(8) \text{ (与式)} = x(x^6-y^6) = x(x^3+y^3)(x^3-y^3)$ {}
\hspace[9mm] = x(x+y)(x^2-xy+y^2)(x-y)(x^2+xy+y^2)$ {}
\hspace[9mm] = \text{bm}[x(x+y)(x-y)(x^2-xy+y^2)(x^2+xy+y^2)]$ {}
$(9) (x+1) = A \text{ と置くと, }$ {}
\text{ (与式)} = A^3 + 2^3 = (A+2)(A^2-2A+4)$ {}
Aを元にもどすと, {}
\hspace[17.3mm] = \text{bm}[(x+1+2)(x^2+2x+1-2x-2+4)]$ {}
\hspace[17.3mm] = \text{bm}[(x+3)(x^2+3)]$ {}
$(10) \text{ (与式)} = (x^3+1) + (x+1)$ {}
\hspace[19.3mm] = (x+1)(x^2-x+1) + (x+1)$ {}

```