

項目反応理論を用いた習熟度の測定と WBT への応用

Measurement of ability using item response theory and its application to WBT.

○九島 新*, 小玉 成人*

○KUSHIMA Arata*, KODAMA Naruhito*

*八戸工業大学

*Hachinohe Institute of Technology

キーワード： 項目反応理論(item response theory), e-ラーニング(e-learning), 教材(teaching material).

連絡先： 〒031-8501 八戸市妙字大開 88-1 八戸工業大学 工学部 システム情報工学科

小玉成人, Tel.: (0178)25-8099, Fax.: (0178)25-1691, E-mail: naru@hi-tech.ac.jp

1. まえがき

平成 15 年度に高校での教科「情報」が設置されてから 9 年目を迎えるが、教員のレベルや設備の差などにより、学生が大学へ入学する頃には情報技術の習熟度の差が非常に大きくなっている。そのため、大学の講義で一律に同じ内容を教えることは難しく、これまでは習熟度別クラス制の導入や習熟度に適応した教材を複数作成することなどにより対応してきた。しかし、そのような方法では教員への負担増となることが問題である。そこで、本研究では e-ラーニングシステムを構築し、学生が自分のレベルに合わせた学習を自立的に行える WBT (Web Based Training) 教材を開発することが目的である。

なお、問題出題形式の e-ラーニングシステムでは、予め作成した問題群からランダムに問題を抽出し、被験者が任意のタイミングで勉強する。そ

のため、被験者の正確な習熟度を求めるには、出題される問題の難易度や他の被験者の習熟度の偏りによる影響を無くす必要がある。そこで、これらの影響を受ける従来の素点や偏差値などの評価方法ではなく、絶対的な習熟度測定を行える項目反応理論 (IRT : Item Response Theory) を用いることによつて的確なレベル設定が可能な教材とする。

2. 項目反応理論

項目反応理論は、評価項目群の応答に基づいて、被験者の能力 (習熟度) と評価項目の難易度を測定するためのテスト理論である。図 1 に示すように、素点や正答率による評価方法では、テスト問題の難易度が異なる場合に同じ能力を持っていたとしても評価が変わってしまう。また、図 2 に示すように、偏差値などによる評価方法では、母集団 (被験者) の能力によつて同様に評価に差が出てしまう。した

がって、このような従来の評価方法では、被験者の能力値を正確に測ることができない。そこで、被験者グループやテストの難易度の差に依存せず、不変的に被験者の能力値とテスト項目の難易度を求められる項目反応理論を利用した。

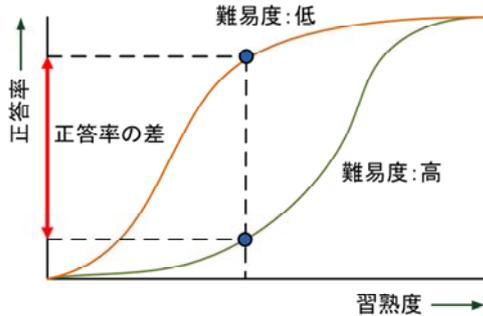


図1 テスト問題が異なる事による影響

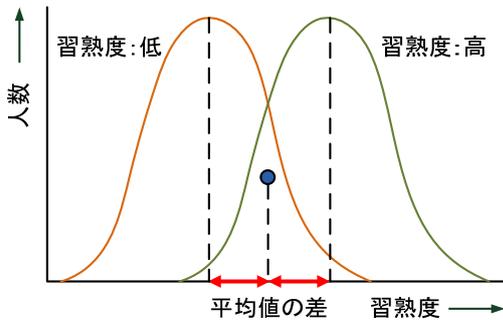


図2 母集団が異なることによる影響

2. 1 項目反応理論の数理モデル

項目反応理論の数理モデルには、パラメータの数によって分けると 1PL(パラメータロジスティック)、2PL、3PL モデルがある。以下、それぞれについて説明する。なお、今回は計算を単純化するため、最も単純で少ないサンプル数でも適切な計算ができる 1PL モデルを用いている。

(1) 1パラメータロジスティックモデル

1PL モデルでは項目 i の正解率は以下の式で表される。

$$P_i(\theta) = \frac{1}{1 + e^{(-Da(\theta - \beta_i))}} \quad (1)$$

ここで(1)式の D と a は定数で $D=1.7, a=1$ である。また、 β_i は項目難易度を表し、 θ は被験者能力を表している。従って、正解の確率は被験者能力 θ と項目難易度 β_i の差($=\theta - \beta_i$)により決まり、被験者の能力

が項目難易度より大きければ正解の確率は高くなり、逆に被験者の能力が項目難易度より小さければ正解の確率は低くなることを意味している。また、特に $D=a=1$ の場合を Rasch モデルと呼んでいる。

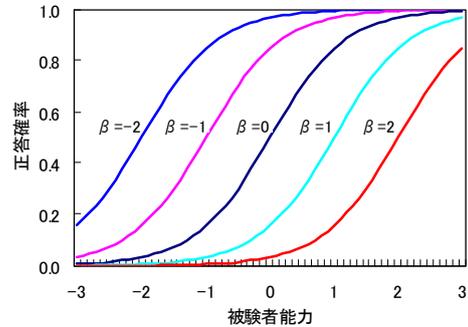


図3 1パラメータロジスティックモデル

(2) 2パラメータロジスティックモデル

2PL モデルでは項目 i の正解の確率は以下の式で表される。

$$P_i(\theta) = \frac{1}{1 + e^{(-Da_i(\theta - \beta_i))}} \quad (2)$$

ここで a_i は識別力と呼ばれる。 a_i は $\theta = \beta_i$ における P_i の傾きに比例する。図4より分かるように a_i が大きくなると $\theta = \beta_i$ における P_i の傾きは急峻になり、被験者の特性値の違いが正答確率にどの程度敏感に反映するかを示す。

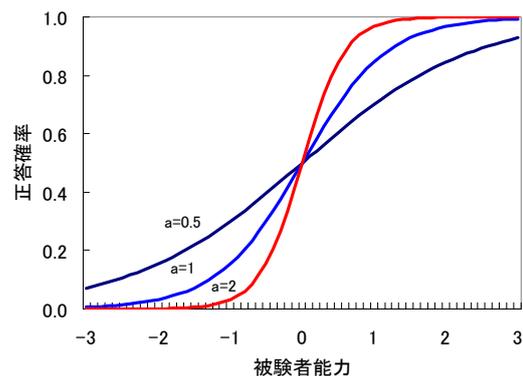


図4 2パラメータロジスティックモデル

(3) 3パラメータロジスティックモデル

3PL モデルでは項目 i の正解の確率は以下の式で表される。

$$P_i(\theta) = c_i + \frac{1 - c_i}{1 + e^{(-Da_i(\theta - \beta_i))}} \quad (3)$$

ここで c_i は当て推量と呼ばれる定数で、実力では全く正解できない被験者が偶然に正答してしまう確率である。1PLモデルと2PLモデルでは正答確率は0と1の間にあるが、3PLモデルでは c_i と1の間にある。

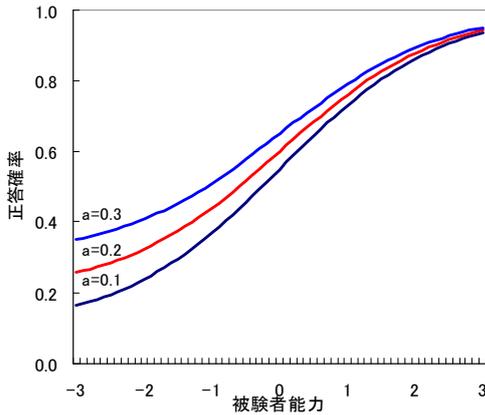


図5 3パラメータロジスティックモデル

2.2 採点方式

採点方式で分けると2値採点モデル、段階反応モデル、混合モデルなどがある。2値採点モデルは、その項目が正答したら1、誤答の場合0とする採点方式である。テスト項目は互いに独立であり、その項目だけで答えを出すことができるような問題に対応する。つぎに、段階反応モデルは、前の問題が次の問題にも影響するもので、段階数の増加に従って、答えのパターンも増加する。最後に、混合反応モデルは前述した2つのモデルを混合したモデルである。

今回は、計算処理を簡潔にするため2値採点方式を採用した。

2.3 パラメータの推定

モデルのパラメータ推定方法には、表1で示されるように最尤推定法やベイズ推定法など様々な方法が開発されているが、本論文では簡単な手計算でも行うことができるPROX法を用いてパラメータ推定を行う。

表1 パラメータの推定方法

Maximum Likelihood Estimation	項目パラメータが既知のとき、それを用いて被験者能力を最尤推定する方法
Joint Maximum Likelihood Estimation	被験者能力が既知のとき、それを用いて項目パラメータを最尤推定する方法
Marginal Maximum Likelihood Estimation	項目パラメータと被験者能力を同時に最尤推定する方法
Joint and Marginal Bayesian Estimation	被験者能力の周辺分布を利用して、項目パラメータを最尤推定する方法
Heuristic Method	同時および周辺分布によるベイズ推定法 ある仮定を必要とするが、計算の速い簡便法

3. 項目反応理論を用いた学習方法の提案

提案する項目反応理論を用いた学習方法の流れを図6に示す。この学習方法では、まず「問題・教材群」からランダムに問題を抽出して、習熟度判定テストを行い、項目反応理論を用いて各学生の習熟度と問題の難易度を求める。つぎに、受験者の習熟度に合わせた難易度の問題（習熟度適応型問題）を、「問題・教材群」から出題し自主学习してもらおう。問題の出題方法は、問題の難易度および学生の習熟度がおおよそ-3~3の値を取るため、単純に「問題の難易度=被験者の習熟度」として、そこからの絶対値が小さい問題から選択する方法を用いた。これによって、習熟度が高い学生には高難易度の問題が、習熟度の低い学生には低難易度の問題が自動的に出題されることになる。なお、不正解の場合には、問題の解説を表示して自主学习しやすいようにしている。

また、提案する学習方法の有効性を確認するため、自主学习してもらった後に再度習熟度判定テストを行い、両方のテストの結果を比較検証した。

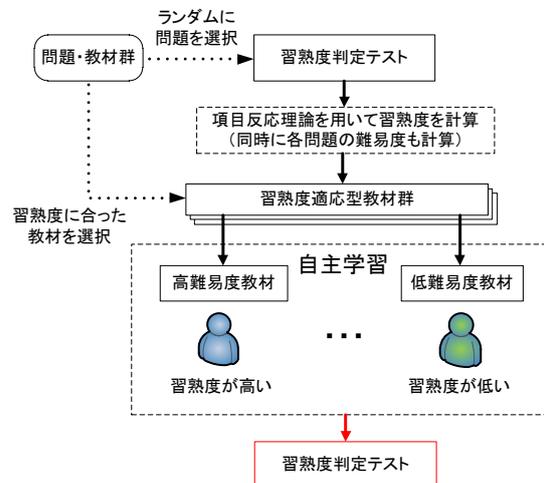


図6 提案する学習方法

4. e-ラーニングシステム

4.1 Moodle の利用

今回、e-ラーニングシステムの構築には LMS (Learning Management System) でコース管理が容易にできる Moodle を採用した。図7はMoodle を用いるためのシステム構成である。Moodle は、利用者や管理者がネットワークを介してアクセスすることで、容易にサイトの利用や管理を行うことができ、インストール、アップグレードが容易であり、自動インストールパッケージがいくつか提供されている。また、無償で利用することが可能であり、多くのモジュールは追加費用なしにインストールすることができる。このシステムには、各個人を識別するためのログイン機能、講義の教材を閲覧するための機能、習熟度判定テストを行うための小テスト機能、問題をストックしておくためのデータベース機能などがある。

上記の機能の中で、小テスト機能は「quiz」というモジュールを利用しており、主にこのモジュールを改造することによって、提案する学習方法を実現している。具体的には、項目反応理論を用いて問題の難易度、学生の習熟度を計算する機能、習熟度と難易度によって問題を抽出する機能を追加した。なお、モジュールの開発には PHP 言語を用いた。

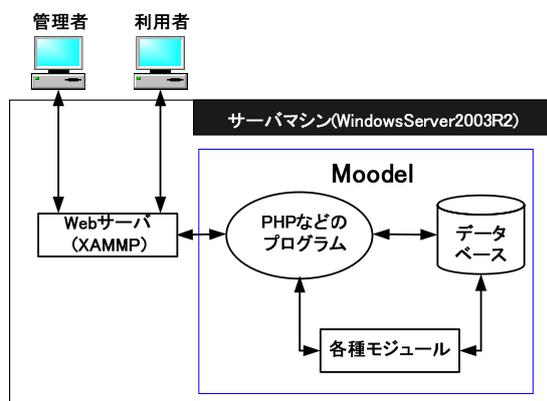


図7 e-ラーニングシステムの構成

4.2 実験環境

本研究は、以下の実験環境で行った。

表2 実験環境

	サーバ	管理者
OS	Windows Sever 2003 R2 SP2	Windows XP Home Edition Version2002 SP3
CPU	Intel(R) Pentium(R) 4 3.20GHz	Intel(R) Core(TM)2 Duo 2.00GHz
メモリ	2GB	2GB
HDD 容量	150GB	75GB

サーバ環境で最も重要な要素は、メモリの容量であり、Moodle ドキュメントによると以下のように同時接続ユーザ数 50 人につき 1GB のメモリを必要とする⁹⁾。そこで、今回の実験では最大 70 名程度のユーザ数となるため、余裕を持って 2GB のメモリを準備した。

$$\text{メモリ容量 (GB)} = \text{ユーザ数} / 50 \quad (4)$$

また、実際にサーバに対する負荷テストを行い、問題無いことを確認した。

5. 評価試験の実施

提案する学習方法の有効性を確認するため、自主学習してもらった後に再度習熟度判定テストを行い、前後のテスト結果を比較検証した。

5.1 評価試験の実施方法

今回の実験では、本学科の2年生に対して行っている「情報ネットワーク入門」という選択科目を対象とした。この科目を対象としたe-ラーニングシステムを図8に、習熟度判定テストなどの小テストを実施している画面を図9に示す。この科目の受講者は 67 名であり、およそ半数ずつの 2 グループに分割して、一つのグループには従来の方法(ランダムに問題を抽出)で学習してもらい、もう一方のグループには今回提案する学習方法を用いて学習してもらった。また、「問題・教材群」はこの講義内容から複数選択無しで 2 値形式の 5 択問題を 100 問用意し、習熟度判定テストはその中から 50 問ランダムに選択して出題した。



図8 作成した講義のe-ラーニングシステム



図9 小テストの実施

5. 2 評価試験の実施結果

表3に提案する学習方法と従来の学習方法を使ったグループの1回目と2回目の習熟度の変化量を示す。結果として、習熟度が0.5以上上昇した人数の割合は、通常の学習方法のグループでは8%だったが、提案する学習方法のグループでは20%となり、ある程度効果があったと思われる。なお、習熟度0付近の結果は、誤差などの影響もあるため除外している。

以上、本方法を用いることによるおおよその効果は確認できたが、e-ラーニングを用いた学習方法には「強制力の欠如」という問題がある。本研究では、正課の講義へ組み込み実施することによって解決を図ったが、問題数が多かったこともあり、途中で止めてしまっていたり、真剣に解いて

いなかったりした学生もいた。また、繰り返し学習してもらうことによって学習効果も上がると思われるが、今回の実験では1度しか自主学習してもらっていない。強制力を持たせるために正課の講義に組み込んで実施すると繰り返し学習の時間を確保することが難しいため、自主学習は時間外に行ってもらい、Moodleのユーザ機能を活用して試験履歴を確認し、未受験の学生には指導する方法が考えられる。

表3 習熟度の比較

	習熟度が0.5以上上昇した人数の割合 (%)
従来の学習方法	8
提案する学習方法	20

6. まとめ

本研究では、WBT教材を開発し、項目反応理論を用いた学習方法を提案、通常の学習方法との習熟度の変化を比較した。結果として、提案する学習方法では通常の学習方法よりも習熟度が上昇し、提案する方法が有効な学習方法であることが確認できた。

今後の課題としては、学生のモチベーションを維持する工夫や偶然正解する可能性の「当て推量」を導入した3PLモデルの適用などが挙げられる。また、計算問題など繰り返し演習することが有効な分野への適用や習熟度だけでなく苦手分野を考慮に入れた学習方法¹⁾を取り入れることによって、さらに学習効果が上がるのではないと思われる。

参考文献

- (1) 大畑, 小玉:「項目反応理論を用いた習熟度適応型WBT教材の開発」, 計測自動制御学会東北支部 第258回研究集会, 資料番号 258-17, (2010-6)
- (2) 尾崎, 松坂:「項目反応理論による数学の基礎能力の推移分析」, 情報処理学会東北支部第7回研究会資料, No.9, (2007-12)

- (3) 北川, 小玉 : 「項目反応理論を用いた WBT 教材の作成」, 計測自動制御学会東北支部 第250回研究集会, 資料番号 250-16, (2009-6)
- (4) 佐々木 : 「項目反応理論による e-learning コンテンツの配信制御」, 情報処理学会東北支部第7回研究会資料, No.10, (2007-12)
- (5) 吉田 : 「項目反応理論を用いた WBT 教材の作成」, 八戸工業大学工学部システム情報工学科卒業研修論文, (2009-2)
- (6) Naruhito Kodama, Tomoyuki Matsuzaka, Takayuki Iqanuma, Noburu Kurihara, Yasuhiro Ozaki : 「Online Education for Students and Community People Using an E-Learning System」, Proc. of ITHET2007, Kumamoto, (2007-7)
- (7) Takayuki Iwanuma, Tomoyuki Matsuzaka : 「Web Based Education Method on Wind Energy Using an E-Learnig System」, Proc. of Renewable Energy 2006, October, Makuhari, (2006.10)
- (8) 大友 : 「言語テスト・データの新しい分析法 項目反応理論入門」, 大修館書店, (1996)
- (9) Moodle ドキュメント
<http://docs.moodle.org/>