

# 項目反応理論を用いた習熟度適応型 WBT 教材の開発

Development of WBT teaching material using item response theory

○大畑 拓也\*, 小玉 成人\*

○OOHATA Takuya\*, 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

大学は全入時代になり、学生数減少による各学生の習熟度の差が大きくなっている。そのため、同じ講義内容では学習効果を上げることが難しく、学習効果を上げるためには各学生の習熟度にあった教材作成が必要となる。しかし、学生毎に教材を作成しては教員の負担が増え結果として教育の質を落とすことになりかねない。そこで、教員が直接関わらずとも学生が自主的に学習できる e-learning を用いる方法が考えられる。しかし、e-learning はコンテンツを準備する労力が大きく、また個別の学生の習熟度に合った教材を用意することは難しい。そこで、本研究では、e-learning システムを用いて能力判定テストを行い、その結果から項目反応理論を用いて客観的に苦手分野を求め、その分野を中心に学習させることによって学習効果の向上を目指し、一定の効果をあげること

ができたので報告する。

## 2. e-learning システムの概要

今回、e-learning システムの構築に LMS (Learning Management System) でコース管理が容易にできる Moodle を採用した。図 1 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。Moodle は、教材管理のほか、クイズ形式の問題作成機能や会議システム (フォーラム) など各種機能を持ち、これらの機能は自ら開発することも可能である。

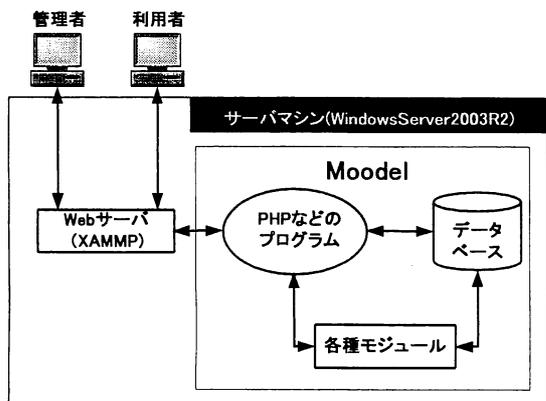


図1 e-learningシステムの構成

### 3. 開発環境

本研究は、以下の開発環境で行った。

表1 開発環境

	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<sup>1)</sup>。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。

$$\text{メモリ容量 (GB)} = \text{ユーザ数} / 50 \quad (1)$$

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。

### 4. 項目反応理論の適用

項目反応理論 (IRT : Item Response Theory) は、評価項目群の応答に基づいて、被験者の特性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。素点や偏差値などの古典的な評価方法では、図 2,3 に示すようにテスト問題の難易度が異なる事によ

る差や母集団の習熟度が異なることによる差によって対象者の習熟度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とテスト項目の難易度を求められるため能力値の判定に利用した。

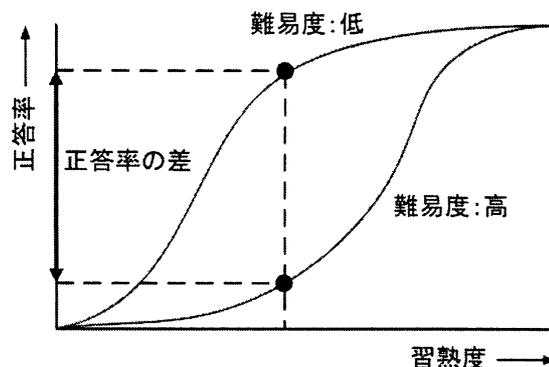


図2 テスト問題が異なる事による影響

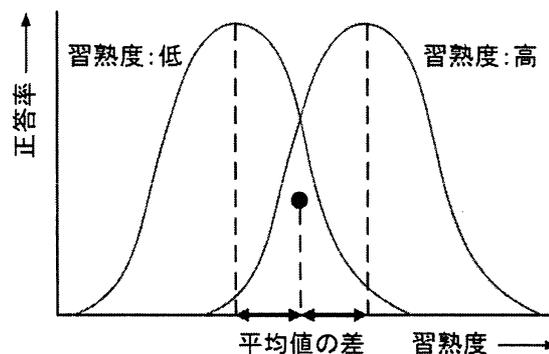


図3 母集団が異なることによる影響

#### 4. 1 1パラメタロジスティックモデル

—1PL モデル

項目反応理論の数理モデルには、パラメータによって分けると 1PL(パラメタロジスティック)、2PL、3PL モデルがある。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 モデルを用いた。1PL モデルでは項目  $i$  の正解率は以下の式で表される。

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

ここで(1)式の  $D$  と  $a$  は定数で  $D=1.7$ 、 $a=1$  である。また、 $\beta_i$  は項目難易度を表し、 $\theta$  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  $\theta$  と項

目難易度  $\beta_i$  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。

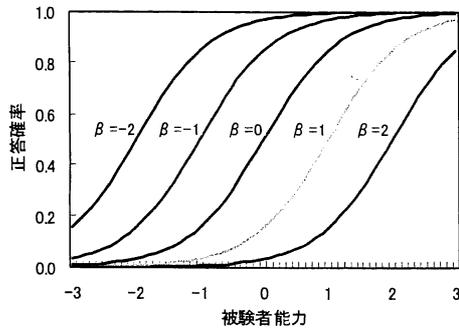


図4 1パラメータロジスティックモデル

#### 4.2 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。

#### 4.3 パラメータの推定

4.1 で述べたように数理モデルは1PLモデルを用いることにした。なお、モデルのパラメータ推定方法には、様々な方法が開発されているが、本研究では簡単な手計算でも行うことができるPROX法を用いた。

## 5. 項目反応理論を用いた

### 効果的な学習方法の提案

#### 5.1 学習の流れ

学習の流れは、図5に示すように始めに1回目の能力判定テストを行い、その結果から項目反応理論を用いて受験者の能力を計算する。受験者の能力は苦手分野毎に計算し、その結果から学生は不偏的に判断された自分の能力値の最も低い分野を重点的に学習することができる。学習後には、2回目の能力判定テストを行い本研究の方法の効果を確認した。

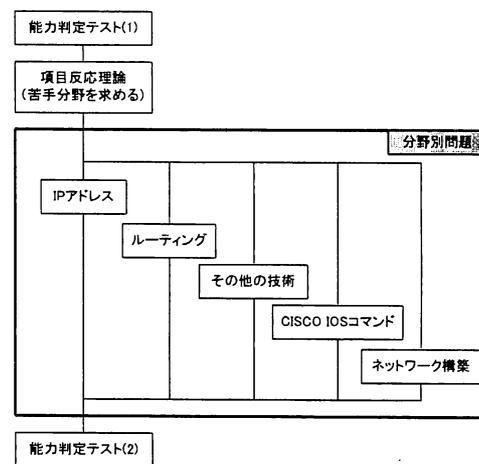


図5 学習フローチャート

なお、対象とした講義は、ネットワーク関連資格のCCNAの問題形式が2値採点モデルに似ているためCCNA取得に関する講義を採用した。また、学習分野は表2に示すように5つの分野に分けた。

#### 5.2 Moodleを用いたe-learningシステムの構築

前述したMoodleを用いて作成したe-learningシステムを図6に示す。このe-learning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、能力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。

表2 学習分野

分野名	概要
IPアドレス	IPアドレスに関する基礎的な知識や計算問題など
ルーティング	スタティックルーティングやダイナミックルーティングなどの基礎知識など
その他の技術	VLANやNAT、DHCPなどのルーティング以外のネットワーク技術など
CISCO IOS コマンド	CISCO ルータのIOS コマンドに関する問題など
ネットワーク構築	小規模ネットワークを構築するための機器の接続やIPアドレスの配分方法など

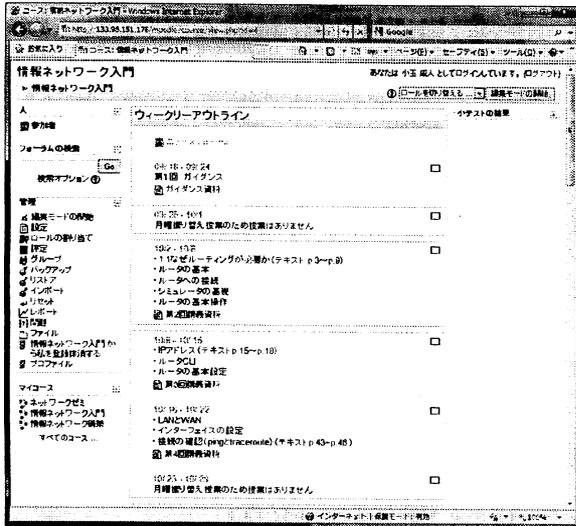


図6 作成した講義のe-learning システム

### 4.3 項目反応理論による能力判定

まず始めに、能力判定テストでの採点方法を2値に変更する必要がある。Moodleの小テスト機能は、一回間違えると-0.1され、正解すると+1.0となる。そのため、不正解の場合は「0」、正解の場合は「1」となるが、テスト中に何回でも回答することができるため、0.9以下は0と判断する。また、2回以上同じテストを行っている学生もいるが、今回は最低点を用いるものとする。2値に成形した能力判定テストの結果を表3に示す。

つぎに、分野別に学生の能力値を求める。例として、IPアドレス分野の学生の能力値を計算する。

表3 能力判定テスト(1)の結果

受験者番号	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18	#19	#20	#21	#22	#23	#24	#25	#26	#27	#28	#30		
1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	11	
2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	23
4	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	16
5	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	15
6	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	10
7	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	19
8	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	10
9	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	8
10	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	19
11	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	15
12	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	12
13	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	16
14	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	18
15	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	10
16	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	13
17	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	9
18	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	21
19	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	10
20	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	11
21	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	22
22	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	20
13	13	16	10	14	18	8	11	6	6	6	2	13	9	9	13	5	14	6	13	13	12	3	14	16	12	16	17	10	12	321	

まず、表4の初期データから0点および満点の学生、正解者が0または全員正解の問題の特異データを除き表5のデータを得る。特異データを除いたデータに対して、項目の困難度については、誤答率を用いて線形性のあるものに変換する。そこで、以下で定義されるロジット・インコレクトに変換する。

$$\text{ロジット・インコレクト} = \ln((1-p)/p) \quad (3)$$

ここで、 $p$ は正答率を意味する。つぎに、求めた表6のロジット・インコレクトは、被験者の能力の水準によって変わってくるという問題を抱えている。そこで、標本の水準による影響をなくするために、各ロジット・インコレクトから、その標本全てのロジット・インコレクトの平均を引き、平均からの差を求め表7に示す初期項目困難度を求める。受験者の能力については、正答率を用いて、線形性のあるものに変換する。そこで、受験者の能力に関しては、以下で定義されるロジット・コレクトに変換する。

表4 IPアドレス分野の初期データ

受験者番号	#1	#2	#3	#4	#5	#6	合計
1	0	0	0	1	0	1	2
2	1	1	1	1	1	1	6
3	1	1	1	1	1	1	6
4	1	0	1	0	1	0	3
5	0	1	0	1	1	1	4
6	0	0	1	1	1	0	3
7	1	1	1	1	1	1	6
8	0	0	1	0	0	1	2
9	0	1	1	0	0	0	2
10	1	1	1	1	1	1	6
11	1	0	0	0	1	1	3
12	1	0	1	0	1	1	4
13	1	1	0	1	0	0	3
14	1	1	0	0	0	1	3
15	0	0	1	0	0	1	2
16	0	0	1	0	1	1	3
17	1	1	1	0	0	1	4
18	1	1	1	1	0	1	5
19	0	0	1	0	1	1	3
20	0	1	1	0	1	1	4
21	1	1	1	0	1	1	5
22	1	1	0	1	1	1	5
合計	13	13	16	10	14	18	84

表5 IPアドレス分野の特異データ除去後

受験者番号	#1	#2	#3	#4	#5	#6	合計
1	0	0	0	1	0	1	2
4	1	0	1	0	1	0	3
5	0	1	0	1	1	1	4
6	0	0	1	1	1	0	3
8	0	0	1	0	0	1	2
9	0	1	1	0	0	0	2
11	1	0	0	0	1	1	3
12	1	0	1	0	1	1	4
13	1	1	0	1	0	0	3
14	1	1	0	0	0	1	3
15	0	0	1	0	0	1	2
16	0	0	1	0	1	1	3
17	1	1	1	0	0	1	4
18	1	1	1	1	0	1	5
19	0	0	1	0	1	1	3
20	0	1	1	0	1	1	4
21	1	1	1	0	1	1	5
22	1	1	0	1	1	1	5
合計	9	9	12	6	10	14	60

表6 IPアドレス分野の項目困難度の線形化

項目	正答率	誤答率	ロジット・インコレクト
1	0.50	0.50	0.000
2	0.50	0.50	0.000
3	0.67	0.33	-0.693
4	0.33	0.67	0.693
5	0.56	0.44	-0.223
6	0.78	0.22	-1.253

表7 IPアドレス分野の初期項目困難度

項目	正答数	正答率	誤答率	ロジット・インコレクト	初期項目困難度	(ロジット・インコレクト) <sup>2</sup>
1	9	0.50	0.50	0.000	0.246	0.061
2	9	0.50	0.50	0.000	0.246	0.061
3	12	0.67	0.33	-0.693	-0.447	0.200
4	6	0.33	0.67	0.693	0.939	0.882
5	10	0.56	0.44	-0.223	0.023	0.001
6	14	0.78	0.22	-1.253	-1.007	1.014
合計				-1.476	0.000	2.217
平均				-0.246	0.000	0.370
SD(n-1)				0.666	0.666	0.455

表8 IPアドレス分野の能力初期値

受験者番号	正答数	正答率	ロジット・コレクト	能力初期値	(ロジット・コレクト) <sup>2</sup>
1	2	0.333	-0.693	-0.693	0.480
4	3	0.500	0.000	0.000	0.000
5	4	0.667	0.693	0.693	0.480
6	3	0.500	0.000	0.000	0.000
8	2	0.333	-0.693	-0.693	0.480
9	2	0.333	-0.693	-0.693	0.480
11	3	0.500	0.000	0.000	0.000
12	4	0.667	0.693	0.693	0.480
13	3	0.500	0.000	0.000	0.000
14	3	0.500	0.000	0.000	0.000
15	2	0.333	-0.693	-0.693	0.480
16	3	0.500	0.000	0.000	0.000
17	4	0.667	0.693	0.693	0.480
18	5	0.833	1.609	1.609	2.590
19	3	0.500	0.000	0.000	0.000
20	4	0.667	0.693	0.693	0.480
21	5	0.833	1.609	1.609	2.590
22	5	0.833	1.609	1.609	2.590
合計	10.000		4.828	4.828	11.614
平均		0.556	0.268	0.268	0.645
SD(n-1)		0.171	0.779	0.779	0.923

$$\text{ロジット・コレクト} = \ln(p/(1-p)) \quad (4)$$

ここで、 $p$  は正答率を意味する。これが、表 8 に示す能力初期値となる。また、標本によってそのデータのばらつきの度合いが異なっているため、それぞれの標準偏差や分散を求め、これらを用いて拡張要素を計算し、表 9,10 に示す最終項目困難度と最終能力を算出する。同様の方法で他の分野の各学生に対する能力値を求める。これらの能力値は、+の値が高い能力を表しており、-の値が低い能力、つまり苦手分野を表している。

表 9 IP アドレス分野の最終項目困難度

項目	初期項目困難度	項目の拡張要素	最終項目困難度
1	0.246	1.023	0.252
2	0.246	1.023	0.252
3	-0.447	1.023	-0.458
4	0.939	1.023	0.961
5	0.023	1.023	0.023
6	-1.007	1.023	-1.030
合計	0.000	6.139	0.000
平均	0.000	1.023	0.000
SD(n-1)	0.666	0.000	0.681

表 10 IP アドレス分野の最終能力

受験者番号	能力初期値	能力の拡張要素	最終能力
1	-0.693	1.002	-0.695
4	0.000	1.002	0.000
5	0.693	1.002	0.695
6	0.000	1.002	0.000
8	-0.693	1.002	-0.695
9	-0.693	1.002	-0.695
11	0.000	1.002	0.000
12	0.693	1.002	0.695
13	0.000	1.002	0.000
14	0.000	1.002	0.000
15	-0.693	1.002	-0.695
16	0.000	1.002	0.000
17	0.693	1.002	0.695
18	1.609	1.002	1.613
19	0.000	1.002	0.000
20	0.693	1.002	0.695
21	1.609	1.002	1.613
22	1.609	1.002	1.613
合計	4.828	18.039	4.839
平均	0.268	1.002	0.269
SD(n-1)	0.779	0.000	0.781

表 11 能力判定テスト (1) (最終能力)

番号	能力初期値	能力の拡張要素	最終能力
1	-0.547	1.161	-0.635
2	-0.268	1.161	-0.312
3	1.190	1.161	1.382
4	0.134	1.161	0.155
5	0.000	1.161	0.000
6	-0.693	1.161	-0.805
7	0.547	1.161	0.635
8	-0.693	1.161	-0.805
9	-1.012	1.161	-1.175
10	0.547	1.161	0.635
11	0.000	1.161	0.000
12	-0.405	1.161	-0.471
13	0.134	1.161	0.155
14	0.405	1.161	0.471
15	-0.693	1.161	-0.805
16	-0.268	1.161	-0.312
17	-0.847	1.161	-0.984
18	0.847	1.161	0.984
19	-0.693	1.161	-0.805
20	-0.547	1.161	-0.635
21	1.012	1.161	1.175
22	0.693	1.161	0.805
合計	-1.159	25.550	-1.346
平均	-0.053	1.161	-0.061
SD(n-1)	0.653	0.000	0.758

表 12 能力判定テスト (2) (最終能力)

番号	能力初期値	能力の拡張要素	最終能力
1	0.268	1.174	0.315
2	-1.872	1.174	-2.197
3	-1.190	1.174	-1.396
4	-0.547	1.174	-0.641
5	0.405	1.174	0.476
6	0.268	1.174	0.315
7	-1.386	1.174	-1.627
8	0.134	1.174	0.157
9	-1.012	1.174	-1.187
10	-1.012	1.174	-1.187
11	-1.386	1.174	-1.627
12	0.693	1.174	0.813
13	-0.405	1.174	-0.476
14	0.693	1.174	0.813
15	1.012	1.174	1.187
16	-0.547	1.174	-0.641
17	-1.012	1.174	-1.187
18	-0.268	1.174	-0.315
19	0.693	1.174	0.813
20	-0.268	1.174	-0.315
21	0.693	1.174	0.813
22	0.693	1.174	0.813
23	-0.268	1.174	-0.315
24	0.134	1.174	0.157
25	0.268	1.174	0.315
26	2.639	1.174	3.097
27	-0.547	1.174	-0.641
28	-0.268	1.174	-0.315
29	0.547	1.174	0.641
合計	-2.847	34.033	-3.341
平均	-0.098	1.174	-0.115
SD(n-1)	0.926	0.000	1.087

表 13 最終能力の比較

分野名	最終能力 (1)	最終能力 (2)
IPアドレス	0.461	0.868
ルーティング	-1.213	-0.117
その他の技術	-0.175	0.805
CISCO IOSコマンド	0.116	0.278
ネットワーク構築	0.538	0.796
全体	0.164	0.271

求めた能力値から苦手分野を中心に分野別問題で学習してもらい、最後に能力判定テスト(2)を行った。能力判定の結果を表 11~13 に示す。表から1回目の最終能力の平均値は 0.164 に対し、2回目は 0.271 と上昇し、本学習方法の効果が示された。しかし、今回は講義時間の都合上、1 分野につき 6 問で能力判定を行っているため、より正確な能力判定を行うためには問題数を増やす必要があると考えられる。また、本来の受講学生は 60 名程度だったにもかかわらず自主的に学習してもらったため、途中で能力判定テストを止めたり、1 回目か 2 回目の試験を行っていなかったりと有効な結果が得られた学生が 20 名程度となってしまった。そのため、ある程度の強制力を持たせる必要があると思われる。

## 6. 習熟度適用型モジュールの開発

以上の結果から習熟度の向上が期待できるため、同様の考え方で習熟度適用型のモジュールを現在作成中である。習熟度適用型教材は、図 7 に示すように Moodle の問題プールから均等に各分野の問題を抽出して出題し、その結果から自動的に苦手とする分野を求め、学習者の習熟度に合った問題を生成する。これを繰り返すことによって、学習者は自分の苦手とする問題を中心に学ぶことができる。

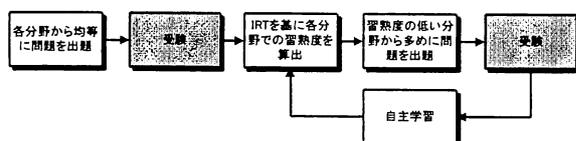


図 7 習熟度適用型教材の処理の流れ

## 7. まとめ

学生の多様化に対応し、学習効果を上げるため、被験者やテストの内容に依存しない項目反応理論を用いて e-learning システムを構築した。この教材を用いて学習してもらった結果、最終能力は平均 0.107 向上した。この結果から、受験者数を増やすための工夫は必要となるが、習熟度の向上が期待できるため、同様の方法を用いて習熟度適用型のモジュールを完成させる予定である。また、受験者数が少ないことによる影響がどの程度あるのか検証することも必要と考える。

## 参考文献

- (1) Moodle ドキュメント  
<http://docs.moodle.org/>
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) 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)
- (5) 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)
- (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)