

多肢式テストにおける LT/R·W 図を用いた 正解・不正解に関する要因分析手法の提案

甘 泉 瑞 応[†] 孫 勝 国[†] 程 子 学^{††}

本研究では、e-Learning での多肢式テストにおいて、学習者の解答が正解あるいは不正解に至った要因を分析する手法を提案する。この手法では、LT/R·W 図を用いて解答を 8 つの特徴のタイプに分類し、その要因を分析する。そのため本研究では、解答の正誤の判定に加え、各設問の難易度と各学習者の理解度のレベルとの相対的な関係に着目する。また、解答に要する標準的な時間と各学習者の解答に要した時間との相対的な関係にも着目する。そして、これらの関係を数値化し LT/R·W 図の上で表すことで、設問ごとに解答の正解・不正解に至った要因を分析する。これにより、学習者や教授者の手を煩わせることなく、個々の学習者の解答に関する有益な学習診断情報を提供することが可能となる。さらに、本研究では、提案手法を実装したシステムを用いた実証実験を行う。そして、アンケート調査により、提案手法による分析結果が解答の正解・不正解に至った要因を的確に反映し、学習者にとって有効な学習診断情報となることを確認する。

A Method of Analyzing Primary Factors in Right or Wrong Answers for Multiple-choice Test Using LT/R·W-chart

MIZUO KANSEN,[†] SHENGGUO SUN[†] and ZIXUE CHENG^{††}

We propose a method to analyze main factors which lead to right or wrong answers for multiple-choice test in e-Learning. To analyze we divide characteristics of the factors into eight types using LT/R·W-chart. In order to achieve this, we not only judge the answers right or wrong, but also we recognize a relationship between level of difficulty of each question and level of understanding of each learner. Moreover, we recognize a relationship between the amount of time that a particular learner takes to solve each question and the amount of time to do so in general. Then, by expressing these relationships numerically on LT/R·W-chart, we analyze the factors which lead to right or wrong answers. This proposed method offers effective informations on one's understanding level regarding the answers of each learner without bothering learners or teachers. Furthermore, we conduct experiment using a system in which this proposed method is implemented, and we also conduct questionnaire. Then, we confirm that with these analysis results, this proposed method offers effective informations to learners to help them realize their understanding level.

1. はじめに

e-Learning を成立させる条件の 1 つとして、学習者へインセンティブを与え自己学習力を高めることがあげられる。そのため e-Learning には、情報提供やチュータリング、コミュニケーションなどの必須機能に加え、個別指導サービスを充実させることが求めら

れている¹⁾。しかし、実際の e-Learning での現場では、一度にたくさんの学習者を相手にしなければならない場合が多く、個々の学習者に対応して、きめの細かい指導サービスを提供することは容易ではない。

一方、多肢式テストは、採点の評価方法が簡単で、コンピュータ上でも容易に処理できることから、e-Learning での学習者の理解状況を測る手段として、最もよく使われるテスト形式の 1 つとなっている。学習者の理解状況を測るために行うテストでは、テストデータから 1 人 1 人の学習者がどのように正解・不正解をしたかをとらえることが不可欠であるといわれている²⁾。通常行われている多肢式テストでも、どの問題ができて、どの問題ができなかったかという情報は

[†] 会津大学大学院コンピュータ理工学研究科
Graduate School of Computer Science and Engineering,
The University of Aizu

^{††} 会津大学コンピュータ理工学部
School of Computer Science and Engineering, The Uni-
versity of Aizu

直接得ることができる。しかし、それらの情報だけではなく、さらに踏み込んだ学習診断情報を得るためには、他の学習者全体の情報も参考にしながら、学習者本人の解答した状況の記録や記憶をもとに1つ1つ解答を分析していくなどの作業が必要となる。

学習診断情報を得るための手法として、従来から「S-P表理論とその分析法」に関する研究⁴⁾⁻⁶⁾や、解答に要した時間を考慮した研究⁷⁾⁻⁹⁾などが行われてきた。これらの研究では、データを総合的に組み合わせ、的確に学習者の理解状況を分析し、有益な学習診断情報として提供していくことを追求している。しかし、学習者や教授者の手間を煩わせることなく、システムが自動的に学習過程のデータを収集し、分析作業までを完結してサポートしてくれるシステムの実現は難しい。

本研究では、① 解答の正誤判定、② 各設問の難易度と各学習者の理解度のレベルとの相対的な関係、③ 解答に要する標準的な時間と各学習者の解答に要した時間との相対的な関係、に着眼し、これらを統合したLT/R・W図による分析手法を提案する。各学習者の解答に関するデータと学習者全体から収集した集計データとを比較して、それらの関係を数値化し判定することで解答の正解・不正解に至った要因を設問ごとに分析する。本提案手法は、学習者や教授者の手を煩わせることなく、個々の学習者の解答に関する有益な学習診断情報を提供することで、e-Learningにおける個別指導サービスをさらに充実させ、学習者の自己学習力を高めていくことを可能とする。以下、2章では本論文における先行研究を紹介し本研究の目的を明らかにする。3章では提案手法の詳細な説明を行う。4章では、提案手法を用いたシステムを実装し実証実験を行う。そして、アンケートとヒアリングにより提案手法の有効性についての検証を行う。

2. 先行研究と本研究の目的

学習診断情報を得るための評価手法として従来から「S-P表理論とその分析法」に関する研究⁴⁾⁻⁶⁾や「反応時間-得点分布の研究」⁷⁾がある。さらにS-P表理論を発展させた応用研究として、解答に要した時間を考慮した研究^{8),9)}や「注意係数」¹⁰⁾を扱った研究などがある。

S-P表は、テストの小問の正誤を0,1で示した得点を縦と横がそれぞれ学習者(S)と問題(P)のマトリックス状に配列し、その上に学習者の得点分布を表すS曲線と問題の正答数分布を表すP曲線を構造的に表したチャートである(図1は4章の実験より実際に

収集したデータを用いて作成したS-P表である)。S-P表によるテストデータ分析は、処理分析の方法が分かりやすく簡単である。また、各問題に対するそれぞれの学習者の反応の特徴が一目で把握でき、全体の傾向を視覚的に理解することができる。こうした優れた特徴を持っていることから、S-P表によるテストデータ分析は実際の教育現場で幅広く使われている。

解答(回答)に要した時間を考慮した研究には、「反応時間-得点分布の研究」⁷⁾や、さらには「回答所要時間を加えた統合SP表」^{8),9)}がある。図1のような従来のS-P表と図2に示したような「設問ごとに計測した解答に要した時間」のデータをそのまま見ただけでは学習診断情報を探し出すことは非常に困難である。そこで、これらの研究は、正誤の判定と解答所要時間のデータを同時に分析することで、より詳細な学習診断情報を得ようとするものである。「反応時間-得点分布の研究」⁷⁾は、課題やテスト問題に対する学習者の反応時間とテストの得点を組み合わせて診断・評価情報を得る分析法である。また、「回答所要時間を加えた統合SP表」^{8),9)}は、S-P表のマトリックス上のランク付けを基準に正誤判定と回答所要時間との両者を同時に利用する視点から研究されたもので、文献8)はS-P表に遅延反応の情報を加味したもので、文献9)は文献8)を発展させファジイ変換を用いた統合S-P表を提案したものである。特に文献9)は、実時間ではなく「回答所要時間」をファジイ変換したところに特徴がある。実時間をそのまま用いると、実測値に多くの分散があり、実データから受ける実感が反映されない。そこで、ファジイ変換を用いることで、データ全体が受ける影響を制御しようとしたものである。

またS-P表分析では、設問の解答ごとに学習者の理解度と学習者全体の平均的な理解度との差異を定量化して「注意係数」として取り扱っている。「注意係数」は、S-P表上のS曲線と設問の正誤表示された配列位置とのかけ離れ度合いを利用して、学習者の理解状況の問題点を顕在化させることを目的としている。「理解度ポテンシャル」に関する研究¹⁰⁾では、このS-P表の「注意係数」の考え方をもとに学習者の理解の定着度や理解の深さを定量的に測定しようとしたものである。

本研究では、新たにLT/R・W図を用いた手法を提案し、これらの「統合S-P表」と「注意係数」の考え方を同時に考慮し発展させることで、より詳細に学習者の解答の特徴を分析しようとするものである。

また、S-P表の研究以外にも、学習者の内的状況を把握する研究は多数行われている¹¹⁾⁻¹⁴⁾が、そのほ

		設問番号 (左から正答数の多い順)																										
		問6	問2	問3	問15	問21	問1	問11	問22	問5	問16	問7	問19	問20	問2	問13	問17	問9	問10	問14	問4	問18	問24	問25	問8	問23	合計	
学 生 番 号 順 (上 か ら 得 点 の 高 い 順)	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	22	
	14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	19
	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	18
	18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	18
	7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	16
	10	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	16
	13	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	16
	2	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	15
	11	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	15
	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	15
	5	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	14
	6	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	12
	9	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	12
	16	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	12
	4	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11
	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9
	19	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9
	3	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8
17	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	
合計		18	17	16	16	16	14	13	13	12	12	11	11	11	10	10	9	8	8	8	8	7	7	6	6	4	2	

1=正解, 0=不正解 (太線=S曲線 破線=P曲線)

図 1 S-P 表の例

Fig.1 An example of S-P chart.

		設問番号 (左から正答数の多い順)																									
		問6	問2	問3	問15	問21	問1	問11	問22	問5	問16	問7	問19	問20	問2	問13	問17	問9	問10	問14	問4	問18	問24	問25	問8	問23	合計
学 生 番 号 順 (上 か ら 得 点 の 高 い 順)	8	30	9	63	14	12	57	99	55	84	37	176	46	11	190	102	13	90	61	14	219	232	48	67	32	60	1821
	14	207	35	235	57	26	166	98	13	395	54	269	42	17	345	264	27	141	78	40	428	201	196	206	234	104	3878
	12	204	14	51	23	102	88	145	37	190	93	481	88	292	729	263	52	302	129	17	439	194	198	411	141	296	4979
	18	40	27	34	20	22	31	81	46	48	42	298	79	21	492	170	59	145	153	49	441	98	216	162	54	78	2906
	7	128	36	147	43	45	84	110	138	101	95	251	44	82	336	475	55	175	161	61	265	164	108	76	203	249	3632
	10	88	19	246	11	37	239	62	77	63	55	654	63	23	738	262	115	73	117	32	149	193	79	420	66	57	3938
	13	72	40	90	15	18	90	85	36	69	56	275	127	60	235	241	40	95	68	36	288	400	77	236	80	92	2921
	2	25	15	82	14	14	37	129	25	35	44	107	30	12	170	141	9	71	29	20	37	43	117	80	35	43	1364
	11	64	59	71	34	31	36	127	36	64	62	243	44	16	194	390	41	41	83	41	32	150	138	109	57	77	2240
	15	106	12	157	25	29	45	120	45	92	54	415	47	22	445	534	25	207	38	47	71	141	26	225	88	15	3031
	5	113	11	77	16	17	66	91	11	32	96	131	45	20	242	154	20	129	40	14	144	249	159	102	96	134	2209
	6	79	39	108	15	13	43	133	65	132	81	131	97	84	282	87	45	108	63	62	202	375	147	92	54	124	2661
	9	100	18	180	15	62	42	187	47	200	62	111	129	28	217	238	42	108	81	37	200	154	96	107	99	115	2695
	16	67	25	156	40	82	42	120	178	183	79	293	80	48	281	208	30	86	207	55	114	195	63	247	100	181	3160
	4	156	35	132	18	18	58	89	73	118	96	193	45	18	125	180	28	95	38	59	101	72	101	144	128	107	2227
	1	59	62	97	54	132	102	64	31	55	93	123	17	61	72	271	66	80	62	53	301	8	60	14	106	38	2081
	19	97	41	51	37	39	45	131	38	73	39	51	21	61	71	70	23	121	41	25	241	361	343	27	53	106	2206
	3	38	47	52	13	12	40	69	19	34	23	41	50	17	95	40	24	161	43	47	78	136	116	58	47	145	1445
17	71	20	92	22	44	29	50	56	22	82	77	37	34	92	265	15	133	60	26	138	210	64	74	70	61	1844	
合計		1744	564	2121	486	775	1340	1990	1026	1990	1243	4320	1131	927	5351	4355	729	2361	1552	735	3888	3576	2352	2857	1743	2082	

(単位: 秒)

図 2 設問ごとに計測した解答に要した時間の例

Fig.2 An example of the time necessary for answering for each question.

とんどが学習者に確信度や感想を入力させたり^{11),12)}, 教授者に事前に予知判別値を要求するもの¹³⁾ や事後処理させるなどの作業の手間をかけさせたりするもの¹⁴⁾ である。先の文献 10) についても、状況をより深く把握するために主観評価として学習者に「自信あり」「自信なし」を記入させている。これらは、分析のためのデータを収集するために学習者に直接の学習活動以外の手間を要求したり、教授者に別の資料を要求したりする点で煩わしさを感じさせる。

本研究では、このような負担を学習者や教授者にかけさせることなく、学習の経過とともに自動的に収集したデータに基づいて学習者の理解状況を把握しようとするものである。

3. LT/R・W 図を用いた分析法

本研究では、新たに LT/R・W 図を用いた分析法を提案する。LT/R・W 図を用いた分析法では、学習の経過とともに自動的に収集したデータをもとに、学習者ごとに 1 つ 1 つの解答の正解・不正解に至った要因を分析する。本章では、LT/R・W 図を用いた分析法の詳細について述べる。

3.1 LT/R・W 図

本節では、LT/R・W 図の概念と構成、および LT/R・W 図により分析した解答タイプについて説明する。

3.1.1 LT/R・W 図の概念

通常行われている多肢式テストの場合、どの問題が

「正解」で、どの問題が「不正解」であったかという情報は直接得ることができる。しかし、それだけでは個々の学習者の解答に関する有益な学習診断情報を得たとはいえない。どのようなレベルの問題を「正解」、あるいは「不正解」したのか、また、他の学習者と比べてどれくらいの時間をかけて解答したのかを比較検討していかなければ、それぞれの学習者の理解状況の違いを明らかにすることはできない。

たとえば、「やさしい問題はよくできているが、少し難しい問題になると歯が立たない」、「他の学習者があまりできていないような難しい問題はできているが、ほとんどの学習者ができているようなやさしい問題ではケアレスミスが目立つ」、「やさしい問題で正解はしているが、他の学習者と比べ時間がかかりすぎである」、「他の多くの学習者が時間をかけても不正解であった問題を短い時間で正解している」などといった個々の学習者の解答に関する学習診断情報を得るためには、他の学習者全体の情報も参考にしながら、学習者本人の解答した状況の記録や記憶をもとに1つ1つ解答を分析していく必要がある。

これらの学習者の理解状況の違いをシステムにより明らかにするために、従来の「正解・不正解」による判定に加え、学習者全体における相対的な尺度としての「難易度レベル」、「解答所要時間」を複合的にとらえたLT/R・W図を用いる（「難易度レベル」、「解答所要時間」については、それぞれ3.2節、3.3節で詳細を説明する）。

3.1.2 LT/R・W図の構成

LT/R・W図は、1人の学習者が受験した多肢式テストにおける各設問に対する解答を視覚的に表示したものである。LT/R・W図は、解答の「正解(=R)・不正解(=W)」により2つのLT図(LT/R図とLT/W図)から構成される。それぞれのLT図は、横軸に「難易度レベル(=L)」、縦軸に「解答所要時間(=T)」をとった2次元座標平面である。L-T平面は、横軸の「難易度レベル」と縦軸の「解答所要時間」によって4つのエリア(A, B, C, D)に分割される(図3を参照)。

一方、本研究では、各設問に対するそれぞれの学習者の解答は、「正解・不正解」、「難易度レベル」、「解答所要時間」という3つの属性を持ち、さらに「難易度レベル」と「解答所要時間」は数値化されて用いられる。そして、それぞれの学習者の各解答を、その数値化された「難易度レベル」と「解答所要時間」の値を用いて、L-T平面上にプロットすることにより、エリアごとに分類する。また、LT/R・W図上の原点が

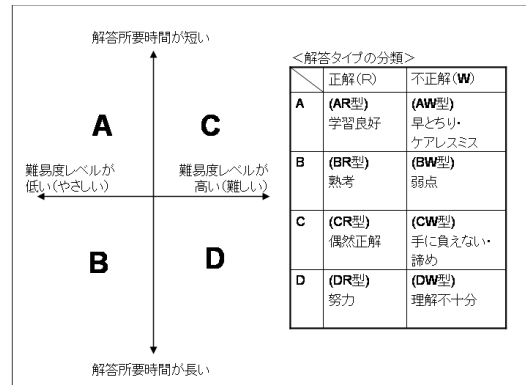


図3 LT/R・W図と解答タイプの分類

Fig. 3 LT/R・W-chart & grouping.

らプロットした点までの距離を用いて、その解答の正解・不正解に至った要因の特徴の程度(=「解答の特徴値」)を表す。

3.1.3 LT/R・W図により分類した解答タイプ

解答タイプとは、2つのLT図(LT/R図とLT/W図)のそれぞれ4つのエリア(A, B, C, D)で分類された解答の8つの種類をさし、正解・不正解に至った要因によって特徴づけられる。表1に、それぞれの解答タイプの特徴とその基準となる要素の判定根拠を示す。これらの解答タイプは、通常の結果では正解・不正解の判定の陰に隠れて明示されることはないが、顕在化することで有益な学習診断情報になる。

3.2 難易度レベル

本節では、LT/R・W図を構成する1つの要素である「難易度レベル」について説明する。また、「難易度レベル」を求める際に基準となる「理解度レベル」の決定の仕方についても説明する。

3.2.1 難易度レベルの考え方

「難易度レベル」はそれぞれの学習者の解答の持つ属性で、学習者本人の実力を示す「理解度レベル」に対し「各設問の難しさのレベル」がどの程度であるかを数値で示したものである。「各設問の難しさのレベル」は学習者が受験した多肢式テストにおける設問の持つ属性で、学習者全体の不正解者数を数値に利用する。「理解度レベル」も同様の尺度(学習者全体の不正解者数)で数値化する。

「難易度レベル」は、「各設問の難しさのレベル」が、同様の尺度によって数値化された学習者の「理解度レベル」からどれくらいかけ離れているかを計測することによって求める。すなわち、

(難易度レベル)

= (各設問の難しさのレベル) - (理解度レベル)

表 1 解答タイプ別特徴

Table 1 Characteristics of each type.

《解答が正解の場合 (=LT/R 図)》

タイプ	特徴	正誤判定	難易度レベル	解答所要時間	特徴の詳細説明
AR 型	学習良好	正解	低い	短い	自分の学力水準からするとやさしいレベルの設問であり、時間をかけずにすんなりと解くことができた解答。
BR 型	熟考	正解	低い	長い	自分の学力水準からすると当然正解するはずのやさしいレベルの設問ではあったが、慎重になりすぎたり、てこずってしまった解答。
CR 型	偶然正解	正解	高い	短い	自分の学力水準を超えた難しいレベルの設問であり、実力的には手に負えず、諦め気味で選択したものがたまたま正解してしまった。多肢選択問題のため偶然正解してしまった解答。
DR 型	努力	正解	高い	長い	自分の学力水準を超えた難しいレベルの設問ではあるが、努力を要して正解することができた解答。

《解答が不正解の場合 (=LT/W 図)》

タイプ	特徴	正誤判定	難易度レベル	解答所要時間	特徴の詳細説明
AW 型	早とちり・ケアレスミス	不正解	低い	短い	自分の学力水準からすると当然正解するはずのやさしいレベルの設問ではあったが、慌てたために早とちりして問題の趣旨を取り違えてしまった解答。
BW 型	弱点	不正解	低い	長い	自分の学力水準からすると当然正解するはずのやさしいレベルの設問ではあったが、自分にとっては不得意分野であったり、たまたま勉強が行き届かなかったため考えても分からず、不正解であった解答。
CW 型	手に負えない・諦め	不正解	高い	短い	自分の学力水準を超えた難しいレベルの設問であり、手に負えないと判断して諦めてしまい、結果も不正解であった解答。
DW 型	理解不十分	不正解	高い	長い	自分の学力水準を超えた難しいレベルの設問であり、学習者によっては何とか解こうと努力したが、結局、不正解であった解答。

で表される。したがって、「難易度レベル」が大きい値の解答の設問ほど、学習者本人の実力からすると難しいレベルの問題であったことになる。

3.2.2 理解度レベルの決定

「理解度レベル」は、学習者の属性で、受講した多肢式テストにおいて学習者本人の実力がどの程度であったかを数値化したものである。

本研究では、学習者本人の受講した多肢式テストにおける解答の「正解・不正解のばらつき」を考慮して「理解度レベル」を決定する。

S-P 表分析の場合、同じ正解数の学習者がいた場合、正解・不正解にばらつきがあるにもかかわらず、その学習者は正解数のみで S 曲線と同一順位に線引きされ、その基準で分析が行われてしまう。この点で、学習者の本来の理解状況に対しての考慮に不十分さが残る。図 1 で例をあげれば、学生番号 No.2, No.11, No.15 の学習者は正解数(得点)が 15 で同じであるが、正解不正解の箇所はまちまちである。やさしい問題を間

違えたり、難しい問題を正解したりしていることから、学習の理解状況には差異があることは十分推定できる。この差異を数値化して「理解度レベル」を決定する手段として、「マハラノビスの距離による判別分析」を用いる。

「マハラノビスの距離による判別分析」とは、2つのグループの標本が測定されており、1つの新しい測定値が与えられたとき、この測定値がどちらのグループに属するかを判別するための分析手法である。「マハラノビスの距離による判別分析」によって、学習者全体の不正解者数という数値を持った設問が、学習者本人の正解・不正解という2つのグループに分けられ、そのグループの中で、理解度の境界線(ボーダライン)はどこであるかを判定し、学習者の実力を表す基準点とする。

図 4 は、図 1 の学生番号 No.15 の学習者の場合を例にとり、「マハラノビスの距離による判別分析」を用いた判別点の考え方を示したものである。各設問を

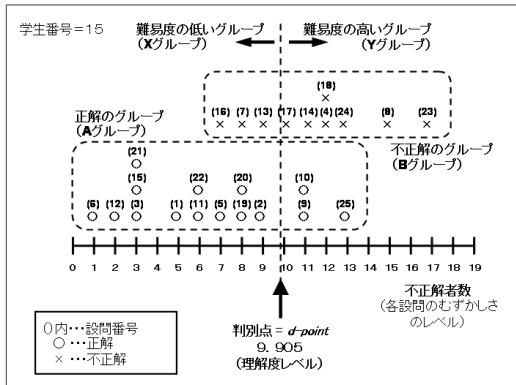


図 4 難易度レベルにおける解答の分布と判別点

Fig. 4 Distribution of answers and discriminant point.

学習者全員の不正解数により同一の数直線上にプロットする。このとき、対象となっている学習者本人の解答を正解の場合には \circ 、不正解の場合には \times を用いて表示し、グループ化する。それぞれを「学習者が正解した問題のグループ (= A グループ)」と「学習者が不正解した問題のグループ (= B グループ)」とする。さらに、2 つのグループを数直線上のある判別点で左右に判別し、正解数の多い解答のグループを「判別点よりも難易度の低い問題のグループ (= X グループ)」、正解数の少ないグループを「判別点よりも難易度の高い問題のグループ (= Y グループ)」とする。このとき、「A グループ」に属しているにもかかわらず「Y グループ」に分別された確率と、「B グループ」に属しているにもかかわらず「X グループ」に分別された確率が等しくなるときの判別点を、「A グループ」と「B グループ」のデータの標準化によって求める。その求めた値が、その学習者の「理解度レベル」を表す判別点の値となる。

ここで、「判別点 (=理解度レベル)」 d_point は、「A グループ」、「B グループ」の平均値を \bar{x}_1, \bar{x}_2 、偏差を σ_1, σ_2 とすると、

$$d_point = \frac{\sigma_1 \bar{x}_2 + \sigma_2 \bar{x}_1}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

となる。

図 4 の学生番号 No.15 の学習者の場合の判別点は「9.095 ポイント」となる。また、同じ正解数 (15) である学生番号 No.2 の学習者の判別点は「10.072 ポイント」、学生番号 No.11 の学習者の判別点は「10.582 ポイント」となる。難易度の低い設問で正解数を稼いでいる No.15 の学習者と比べ、難易度のやや高い設問でも正解をしている No.11 の学習者の方が、「判別点 (=理解度レベル)」は「0.677 ポイント」高いことに

なる。

3.3 解答所要時間

LT/R·W 図の縦軸には「解答所要時間」をとる。本研究でいう「解答所要時間」とはそれぞれの学習者の解答の持つ属性で、ある学習者が設問ごとに解答に要した時間を全学習者のものと比較して相対的な時間として計算したものである。一般的に「解答に要した時間」をいう場合には、設問を解くのに要した時間を単純に時計により計測した実時間のことをいうが、設問の内容によって、たくさんの時間を必要とするものから、あまり時間をかける必要のないものまでさまざまである。実時間をそのまま用いると、実測値に多くの分散があり、設問ごとに平均値に差異があるため、比較が困難である。そこで、「解答所要時間」を、それぞれの平均や分散を考慮し、設問ごとに解答に要した時間の分布の偏りをデータの標準化を行うことで修正し、偏差値を用いて表すこととする。また、範囲を ± 1 となるようにそれぞれの設問に対する自分の偏差値を縦軸の範囲に合わせ、原点からの距離をとりプロットする。

3.4 $LT_distance$ による解答の特徴値

原点から LT/R·W 図上に「難易度レベル」、「解答所要時間」の値を用いてプロットした解答の点までのユークリッド距離 ($LT_distance$) を「解答の特徴値」とし、その解答の分類結果の確からしさ (可能性) の程度を示すものとする。すなわち、その値が大きいほど分類したタイプの特徴 (その解答の正解・不正解に至った要因の性質) を強く表すことになる。

たとえば、図 5 に示した LT/W 図では、設問 P_1 と設問 P_2 の解答は同じエリアに属し同じ CW 型に分類されているが、 P_1 のほうが P_2 より原点から離れたところに位置している。これは P_1 のほうが P_2 よりその解答の不正解の要因が「手に負えない・諦め」であった可能性が高いことを示している。

3.5 LT/R·W 図による効果と提示の例

LT/R·W 図では、学習者全体の中での学習者個人の相対的な理解状況に関する学習診断情報が織り込まれており、学習者は設問ごとの自分の解答の特徴を視覚的に把握することができる。自らの学習の理解状況における問題点をはっきりと認識させることで、学習者にインセンティブを与え、自己学習力を高めさせることができる。

図 6 は、後述の 4 章の実験において実際にシステムが Applet で表示した LT/R·W 図である。図の左側は正解したそれぞれの解答を「難易度レベル」、「解答所要時間」の値を用いてプロットした LT/R 図で

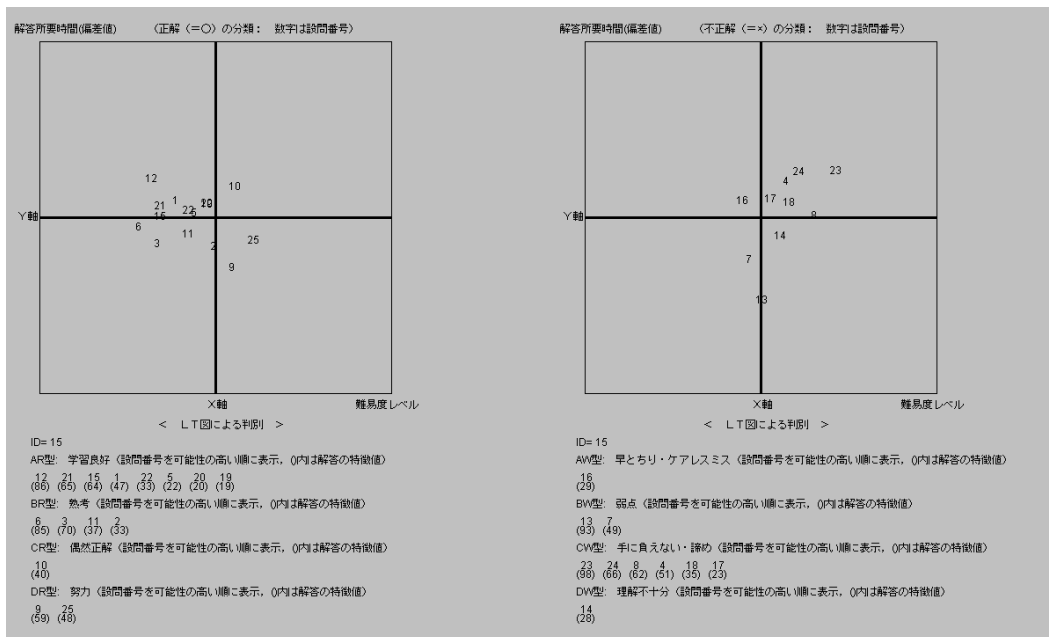


図 6 LT/R·W 図の例 (Applet で表示させたところ)
Fig. 6 An example of LT/R·W-chart.

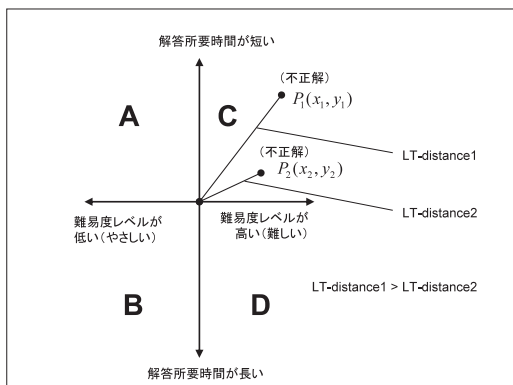


図 5 LT/R·W 図と LT 距離
Fig. 5 LT/R·W-chart & LT-distance.



図 7 学習指針の提示の参考例
Fig. 7 A reference example of instructions.

あり、図の右側は不正解したそれぞれの解答を「難易度レベル」、「解答所要時間」の値を用いてプロットした LT/W 図である。左右の LT 図の下に、解答を LT 図により分類した結果を示している。また、解答タイプ別に分類した各解答を *LT_distance* による解答の特徴値の高いものから降順にソートし表示している。Applet 上の番号は設問の番号を示し、() 内の数字はそれぞれの解答の特徴値を示している。たとえば、図 6 の右側の LT/W 図で、設問番号 23 の解答は CW 型に分類されたエリアに原点から一番離れたところに位置している。これは、不正解となった解答の中で、そ

の要因が「手に負えない・諦め」であった可能性が最も高いことを示している。

また図 7 は、学習者に対して提示した学習指針の画面の参考例である。本提案手法によって得られた学習診断情報を利用すれば、このような個別対応の「学習指針」をそれぞれの学習者に提示することもでき、個別指導サービスをさらに充実させることができる。

4. 実装・実験

本章では、3 章で示した LT/R·W 図を用いた学習システムを実装し、実証実験を行う。そして、アンケート

調査により、提案手法による分析結果が学習者にとって有効な学習診断情報となることを確認し、提案手法の有効性を検証する。

4.1 システムの実装

3章の考え方にに基づき設計された学習システムを実装する。本システムは、言語にはJavaを用いてJSPによるサーバクライアントシステムで実現した。学習者クライアントサイドでの学習者の操作により、設問ごとに解答と解答に要した実時間のデータが収集される。データベースにはMySQLを用いた。収集されたデータは、JavaBeansによりセッション管理され、最終的にサーバサイドのデータベースに格納される。学習者の要求により、本手法による学習者の各解答の分析が行われ、その結果が学習者クライアントサイドの画面に提示される。

図8と図9は実装したシステムの試験画面である。試験画面は図8のように「タイトル部(上部)」と「HOME部(下部)」にフレームが分かれている。学習者が「HOME部」から設問を選択すると図9のように下部が「設問部」画面に遷移する。同時にタイマが作動し、各設問ごとに解答に要した実時間が計測される。学習者は表示された設問(多肢式選択問題)ごとに、チェックボックスを選択して解答していく。各設問の「設問部」画面からは必ずいったん「HOME部」画面に戻る。各設問の解答にかかる正味時間を計測するため、この「HOME部」画面での時間は計測されない。テストを終了する際は、「タイトル部」にある「提出ボタン」をクリックする。「提出ボタン」がクリックされると「データベース登録画面」へ遷移し、収集したデータがサーバサイドのデータベースに保存される。その後、学習者の要求で、前述の図6、図7(参考例)が学習者クライアントサイドの画面に表示される。

4.2 実験

4.1節で実装した学習システムを用いて、実証実験を行う。LT/R・W図による分析手法では、「正解・不正解」、「難易度レベル」、「解答所要時間」といった分析に必要な情報のもととなるデータをシステムが学習の経過とともに自動的に収集する。今回の実験では、これらの情報のみから分析された結果が解答の正解・不正解に至った要因を的確に反映し、学習者にとって有益な学習診断情報であったかをアンケートとヒアリングにより確認する。これにより本提案手法の有効性を検証する。以下に実験の方法、実験による提案手法の評価法、アンケート内容について説明する。

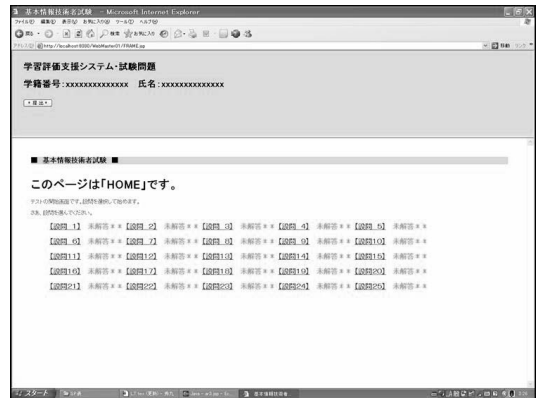


図8 試験画面「HOME部」

Fig.8 Snapshot "HOME" of the test.



図9 試験画面「設問部」

Fig.9 Snapshot "EXAM" of the test.

4.2.1 実験の方法

4.1節で実装した学習システムを用いて、下記の要領で実証実験を行う。

- 課題内容：「基本情報技術者試験」午前問題対策の練習問題(出題範囲全般から、範囲が均等でかつ頻出度の比較的高い、標準的な問題を中心に選び設問を作成)(四肢択一問題)
- 学習者(被験者)：「基本情報技術者試験」に関する知識をある程度持っているコンピュータ理工学を専攻する大学学部生および大学院生、計19名。
- 設問数：25問
- 制限時間：特に制限時間は設けないが、1時間程度を目安とする。

4.2.2 実験による分析手法の評価方法

実験による分析手法の評価については、以下の2通りのアンケートとヒアリングにより行う。

(1) 「アンケート<その1>」

実装したシステムが分類した各設問に対する解答タ

タイプと、学習者が回答したアンケートの集計結果とを照らし合わせ、解答タイプの特徴の傾向を検証する。学習者には、各設問を解答し「HOME 画面」に戻った直後に、各設問とその解答についての感想をアンケート形式で回答してもらう。解答タイプごとに集計したアンケート結果（「全体データ」）が、3.1.3 項で示したそれぞれの解答タイプの特徴を的確に表しているかを検証する。

さらに、この「全体データ」から、「解答の特徴値」の高いものを全体の 2 分の 1 程度になるように解答の特徴値の範囲を定めて抽出し、「アンケート<その 1>」を解答タイプごとに再集計する（「抽出データ」）。この「抽出データ」が、「全体データ」より解答の特徴の傾向を強く表しているかを検証する。

「アンケート<その 1>」は、3 つの質問にそれぞれ 3 つの選択項目を用意した。アンケートの質問内容と選択回答項目、および今回の検証における各々の質問の主旨は以下のとおりである。

質問 1: 「解答への自信はありますか？」

< 選択回答項目 >

① 自信あり ② どちらともいえない ③ 自信なし

< 質問の主旨 >

学習者のそれぞれの解答に対する自信度と解答の他の要因との関係を検証する。本来であれば、「自信あり」の回答をした場合は正解の可能性が高く、「自信なし」と回答した場合は不正解の可能性が高いことになるが、その反対のケースの解答の異質性の要因も検証する。

質問 2: 「手応えはありましたか？」

< 選択回答項目 >

① 手応え十分 ② 普通 ③ 手応え不十分

< 質問の主旨 >

思ったより手間がかからず、すんなりと解答できたか、思った以上に解答するのに時間をかけすぎってしまったかを問うことにより、解答所要時間の長短と解答の他の要因との関係を検証する。

質問 3: 「設問自体の難易度はどう思いましたか？」

< 選択回答項目 >

① 難しい ② 普通 ③ やさしい

< 質問の主旨 >

自分の出来・不出来とは関係なく、設問自体を難しいと感じたか、やさしいと感じたかを問うことにより、「難易度レベル」と解答の他の要因との関係を検証する。

表 2 各タイプの分類集計

Table 2 Total number of each type.

「全データ」の分類結果（延べ 475 問）

AR 型	112 問 (24%)	AW 型	40 問 (9%)
BR 型	81 問 (17%)	BW 型	25 問 (5%)
CR 型	35 問 (7%)	CW 型	97 問 (20%)
DR 型	37 問 (8%)	DR 型	48 問 (10%)
正解 (R)	265 問 (56%)	不正解 (W)	210 問 (44%)

「抽出データ」の分類（延べ 221 問）

AR 型	62 問 (28%)	AW 型	11 問 (5%)
BR 型	44 問 (20%)	BW 型	12 問 (6%)
CR 型	7 問 (3%)	CW 型	45 問 (20%)
DR 型	15 問 (7%)	DR 型	25 問 (11%)
正解 (R)	128 問 (58%)	不正解 (W)	93 問 (42%)

(2) 「アンケート<その 2>」

「アンケート<その 2>」では、本分析手法の総合的な有効性についての評価を、次の項目に対する 5 段階評価で行う。

質問 1: 「分類結果は参考になりましたか？」

質問 2: 「特徴値は参考になりましたか？」

質問 3: 「自分のこれからの課題は明確になりましたか？」

このアンケートは、全学習者のテストが終了した後、学習者にそれぞれの分析結果を出力した「LT/R・W 図」と「アンケート<その 1>」および「設問」を同時に見てもらったうえで実施する。

(3) システムの効果に関するコメントの聴取

最後にヒアリングを行い、システムの効果に関するコメントを聴取する。

4.3 実験結果と考察

4.3.1 実験結果

(1) システムによる分類結果と「アンケート<その 1>」の結果

システムが分類した「各解答タイプの集計」は表 2 のようになった。表 2 の上表は、全学習者（19 名）のすべての解答（25 問：延べ 475 問）を解答タイプ別に分類した結果を集計したものである（「全データ」）。また、表 2 の下表は、「解答の特徴値」の高いものを全体の 2 分の 1 程度になるように解答の特徴値の範囲を定め抽出を行ったものである（「抽出データ」）。各解答タイプとも均等の割合で抽出することができた。

表 3 は、システムが分類した各解答タイプ別に、学習者が回答した「アンケート<その 1>」を集計した結果をまとめたものである。上表は「全データ」をまとめたもので、下表は「抽出データ」をまとめたものである。また、表 4 は、「アンケート<その 1>」の結果から読み取れた解答タイプ別特徴の傾向をまとめ

表 3 解答タイプ別アンケートの結果の集計

Table 3 Count of the results of the questionnaire according to answer types.

<解答タイプ別アンケート結果の集計(「全データ」)>

	質問 1 解答への自信はありますか?			質問 2 手応えはありましたか?			質問 3 設問自体の難易度は?			合計
	項目 ①	項目 ②	項目 ③	項目 ①	項目 ②	項目 ③	項目 ①	項目 ②	項目 ③	
AR 型 (学習良好)	64 問 (57%)	32 問 (29%)	16 問 (14%)	24 問 (21%)	51 問 (46%)	37 問 (33%)	6 問 (5%)	30 問 (27%)	76 問 (68%)	112 問 (100%)
BR 型 (熟考)	41 問 (51%)	25 問 (31%)	15 問 (18%)	18 問 (22%)	40 問 (50%)	23 問 (28%)	9 問 (11%)	28 問 (35%)	44 問 (54%)	81 問 (100%)
CR 型 (偶然正解)	10 問 (29%)	8 問 (23%)	17 問 (48%)	6 問 (17%)	17 問 (49%)	12 問 (34%)	8 問 (23%)	12 問 (34%)	15 問 (43%)	35 問 (100%)
DR 型 (努力)	11 問 (30%)	12 問 (32%)	14 問 (38%)	16 問 (43%)	15 問 (41%)	6 問 (16%)	8 問 (22%)	21 問 (56%)	8 問 (22%)	37 問 (100%)
AW 型 (早とちり)	10 問 (25%)	16 問 (40%)	14 問 (35%)	7 問 (18%)	13 問 (33%)	20 問 (54%)	4 問 (10%)	13 問 (33%)	23 問 (57%)	40 問 (100%)
BW 型 (弱点)	4 問 (16%)	10 問 (40%)	11 問 (44%)	9 問 (36%)	11 問 (44%)	5 問 (20%)	6 問 (24%)	8 問 (32%)	11 問 (44%)	25 問 (100%)
CW 型 (諦め)	13 問 (13%)	27 問 (28%)	57 問 (59%)	12 問 (12%)	40 問 (41%)	45 問 (47%)	20 問 (21%)	40 問 (41%)	37 問 (38%)	97 問 (100%)
DW 型 (理解不十分)	7 問 (15%)	15 問 (31%)	26 問 (54%)	13 問 (27%)	21 問 (44%)	14 問 (29%)	13 問 (27%)	23 問 (48%)	12 問 (25%)	48 問 (100%)
	項目 ①: 自信あり 項目 ②: どちらともいえない 項目 ③: 自信なし			項目 ①: 手応え十分 項目 ②: 普通 項目 ③: 手応え不十分			項目 ①: 難しい 項目 ②: 普通 項目 ③: やさしい			

<解答タイプ別アンケート結果の集計(「抽出データ」)>

	質問 1 解答への自信はありますか?			質問 2 手応えはありましたか?			質問 3 設問自体の難易度は?			合計
	項目 ①	項目 ②	項目 ③	項目 ①	項目 ②	項目 ③	項目 ①	項目 ②	項目 ③	
AR 型 (学習良好)	39 問 (63%)	16 問 (26%)	7 問 (11%)	12 問 (19%)	30 問 (48%)	20 問 (33%)	2 問 (3%)	12 問 (20%)	48 問 (77%)	62 問 (100%)
BR 型 (熟考)	24 問 (55%)	14 問 (32%)	6 問 (13%)	8 問 (18%)	26 問 (59%)	10 問 (23%)	5 問 (11%)	14 問 (32%)	25 問 (57%)	44 問 (100%)
CR 型 (偶然正解)	1 問 (14%)	1 問 (14%)	5 問 (72%)	1 問 (14%)	3 問 (43%)	3 問 (43%)	2 問 (29%)	3 問 (42%)	2 問 (29%)	7 問 (100%)
DR 型 (努力)	3 問 (20%)	6 問 (40%)	6 問 (40%)	5 問 (33%)	6 問 (40%)	4 問 (27%)	3 問 (20%)	9 問 (60%)	3 問 (20%)	15 問 (100%)
AW 型 (早とちり)	3 問 (28%)	4 問 (36%)	4 問 (36%)	2 問 (18%)	3 問 (27%)	6 問 (55%)	2 問 (18%)	4 問 (36%)	5 問 (46%)	11 問 (100%)
BW 型 (弱点)	0 問 (0%)	7 問 (58%)	5 問 (42%)	1 問 (8%)	8 問 (67%)	3 問 (25%)	2 問 (17%)	3 問 (25%)	7 問 (58%)	12 問 (100%)
CW 型 (諦め)	5 問 (11%)	10 問 (22%)	30 問 (67%)	4 問 (9%)	16 問 (36%)	25 問 (55%)	10 問 (22%)	23 問 (51%)	12 問 (27%)	45 問 (100%)
DW 型 (理解不十分)	2 問 (8%)	6 問 (24%)	17 問 (68%)	6 問 (24%)	13 問 (52%)	6 問 (24%)	8 問 (32%)	12 問 (48%)	5 問 (20%)	25 問 (100%)
	項目 ①: 自信あり 項目 ②: どちらともいえない 項目 ③: 自信なし			項目 ①: 手応え十分 項目 ②: 普通 項目 ③: 手応え不十分			項目 ①: 難しい 項目 ②: 普通 項目 ③: やさしい			

たものであり、表 3 の「全データ」の集計結果から、各解答タイプの項目の中で他と比較して目立った数値を示したものをピックアップし、その特徴の傾向を読み取ったものである。

表 5 は、表 4 で取り上げた「全データ」の項目の数値が「抽出データ」によりどのように変化し、その結果、読み取った各解答の特徴の傾向が強まったか弱まったかを判定したものである。この結果では、全 25 項目中 19 項目で「全データ」と比べ「抽出データ」のほうが解答の特徴の傾向が強まったことが分かった。

(2) 「アンケート<その 2>」の結果

「アンケート<その 2>」の結果を質問ごとに見て

いくと次のようになった。

質問 1: 「分類結果は参考になったか?」「とても参考になった」が 53% (10 名), 「参考になった」が 26% (5 名), 「どちらともいえない」が 16% (3 名), 「あまり参考にならなかった」が 5% (1 名), 「参考にならなかった」が 0% (0 名) であった。したがって、「とても参考になった」、「参考になった」を合計した 79% (15 名) が提案手法による分類結果が参考になったと評価したことになる。

質問 2: 「特徴値は参考になったか?」に対する回答「とても参考になった」が 73% (14 名), 「参考になった」が 21% (4 名), 「どちらともいえない」

表 4 アンケートの結果から読み取れた解答タイプ別特徴の傾向

Table 4 Characteristics of each type from the result the questionnaire.

《解答が正解の場合(=LT/R 図)》

タイプ	アンケート結果	読み取れる特徴の傾向
AR 型	解答への自信については、「自信あり」が 57% と他のタイプと比べ最も高かった。手応えについては、「手応えなし」が 33% と R 型の中では高い水準であった。設問自体の難易度については、「やさしい」が 68% と他のタイプと比べ最も高かった。	圧倒的に解答に自信があり、問題自体もやさしいと感じており、手応えも不十分であるという傾向が見られる(十分習得した問題の内容であり、この問題の内容については学習良好であると考えられる)。
BR 型	解答への自信については、「自信あり」が 51% と他のタイプと比べ AR 型に次ぎ、2 番目に高かった。設問自体の難易度については、「やさしい」が 54% と高かった。	AR 型と同じ傾向が見られるが、AR 型と比べ自信なしが多く、難しいと感じられたケースが多い解答である(慎重な対応をしたと考えられる)。
CR 型	解答への自信については、「自信なし」が 48% と他のタイプと比べ高い水準であった。手応えについては、「手応え不十分」が 34% と他の R 型と比べ最も高く、「手応え十分」が 17% と他の R 型と比べ最も低かった。設問自体の難易度については、「難しい」が 23% と R 型の中では最も高かった。	正解しているにもかかわらず、AR 型や BR 型と比べるとやさしく感じられるケースが少なく、手応えもなく、特に解答に自信がないケースが多い(たまたま正解してしまった、本当に理解しているか疑わしい解答の可能性が高いと考えられる)。
DR 型	解答への自信については、「自信あり」が 30% と低く、「自信なし」が 38% と高かった。手応えについては、「手応え十分」が 43% と他のタイプと比べ最も高かった。設問自体の難易度については、「難しい」が 22% と R 型では高い水準であり、「やさしい」が 22% と他のタイプと比べ最も低かった。	他の正解している場合(R 型)と比べ問題が難しいと感じ、解答への自信は半々であるが、手応えを強く感じて結果として正解している(相当の努力を要して正解に至ったケースであると推測できる)。

《解答が不正解の場合(=LT/W 図)》

タイプ	アンケート結果	読み取れる特徴の傾向
AW 型	解答への自信については、「自信あり」が 25% と W 型の中では最も高かった。手応えについては、「手応え不十分」が 54% と他のタイプと比べ最も高かった。設問自体の難易度については、「やさしい」が 57% と W 型の中では最も高かった。	他の不正解の場合(W 型)と比べ解答に自信を持っており、かつ圧倒的にやさしい問題であると思っているが、結果は不正解であるケースである(手応えが不十分であることから問題を勘違いしてとらえたか、慌ててケアレスミスを起こした可能性が高いと考えられる)。
BW 型	解答への自信については、「自信あり」が 16% と低く、「自信なし」が 44% と高い水準であった。手応えについては、「手応え十分」が 36% と他のタイプと比べ高い水準であった。設問自体の難易度については、「やさしい」が 44% と高い水準にあった。	それほど難しいとは思っていないが、手応えがあり自信が持たないケースである(本来であれば解けないレベルではないが、勉強が行き届かずできなかった可能性が高いと考えられる)。
CW 型	解答への自信については、「自信なし」が 59% と他のタイプと比べ最も高かった。手応えについては、「手応え不十分」が 47% と他のタイプと比べ高い水準であった。	解答に対する自信が一番なく、手応えも感じられなかったケースである。問題自体は難しいとも、やさしいともいえない傾向が見られる(手がつけられず、諦めに近い状態であった可能性が高いと思われる)。
DW 型	解答への自信については、「自信なし」が 54% と他のタイプと比べ高い水準にあった。設問自体の難易度については、「難しい」が 27% と他と比べて最も高かった。	問題自体難しく感じられ解答に自信がないといった傾向が見られた。

表 5 解答の特徴の傾向の比較

Table 5 Comparing tendency of characteristics of answers.

《解答が正解の場合(=LT/R 図)》

タイプ	項目	「全データ」	「抽出データ」	(増減: point)	抽出データの特徴
AR 型	「自信あり」	57%	63%	(+6)	より強い
	「手応え不十分」	33%	33%	(±0)	同じ
	「やさしい」	68%	77%	(+11)	より強い
BR 型	「自信あり」	51%	55%	(+4)	より強い
	「やさしい」	54%	57%	(+3)	より強い
CR 型	「自信なし」	48%	72%	(+24)	より強い
	「手応え十分」	17%	14%	(-3)	より強い
	「手応え不十分」	34%	43%	(+9)	より強い
	「難しい」	23%	29%	(+6)	より強い
DR 型	「自信あり」	30%	20%	(-10)	より強い
	「自信なし」	38%	40%	(+2)	より強い
	「手応え十分」	43%	33%	(-10)	より弱い
	「難しい」	22%	20%	(-2)	より弱い
	「やさしい」	22%	20%	(-2)	より強い

《解答が不正解の場合(=LT/W 図)》

タイプ	項目	「全データ」	「抽出データ」	(増減: point)	抽出データの特徴
AW 型	「自信あり」	25%	28%	(+3)	より強い
	「手応え不十分」	54%	55%	(+1)	より強い
	「やさしい」	57%	46%	(-11)	より弱い
BW 型	「自信あり」	16%	0%	(-16)	より強い
	「自信なし」	44%	42%	(-2)	より弱い
	「手応え十分」	36%	8%	(-28)	より弱い
	「やさしい」	44%	58%	(+12)	より強い
CW 型	「自信なし」	59%	67%	(+8)	より強い
	「手応え不十分」	47%	55%	(+8)	より強い
DW 型	「自信なし」	54%	68%	(+14)	より強い
	「難しい」	27%	32%	(+5)	より強い

が5%(1名),「あまり参考にならなかった」と「参考にならなかった」がともに0%(0名)であった。したがって,「とても参考になった」,「参考になった」を合計した95%(18名)が提案手法が示した解答の特徴値が参考になると評価したことになる。

質問3:「自分のこれからの課題は明確になったか?」に対する回答

「とても明確になった」が58%(11名),「明確になった」が21%(4名),「どちらともいえない」が11%(2名),「あまりなかったとはいえない」が11%(2名),「明確にならなかった」が0%(0名)であった。したがって,「とても明確になった」,「明確になった」を合計した79%(15名)が提案手法により自分のこれからの学習課題が明確になったと評価したことになる。

(3) システムの効果に関するコメントの聴取

ヒアリングからは,「全体の中で自分の学習の理解の程度が問題ごとにはっきりした」,「適当に答えていたところがはっきりと結果に表れていた」,「自分が難しいと思った問題をみんなが意外と簡単に解いていることが分かった」,「計算問題に人より手間どっていたことを痛感した」などのコメントを得ることができた。

4.3.2 考 察

今回の実験では,「正解・不正解」,「難易度レベル」,「解答所要時間」といったデータをシステムが自動的に収集し,それぞれの学習者に解答タイプと解答の特徴値を示したLT/R・W図を提示することができた。

そして,「アンケート<その1>」から,分類した8つの解答タイプは,3.1.3項で示した学習者の解答の特徴を的確に表していることを確認することができた。さらに,解答の特徴値が大きいほうが分類した解答タイプの特徴を強く表していることも確認することができた。

また,「アンケート<その2>」から,LT/R・W図上で示される分析結果を視覚的に確認することで,学習者が自分の解答の特徴をはっきりと認識することができることも確認した。そして,本提案手法により分類した解答タイプや解答の特徴値が,学習者が自分の課題を明確に認識するために役立つことを実証した。

さらに,ヒアリングの結果から,LT/R・W図上で視覚的に示される自分の解答の特徴は,今まで通常のテスト結果では正解・不正解の判定の陰に隠れて明示されることがなかった情報であり,これらの情報を顕在化することで学習者は有益な学習診断情報を容易に得ることができることを確認した。

5. おわりに

本研究では,e-Learningでの多肢式テストにおいて,学習者の解答が正解あるいは不正解に至った要因を分析する手法を提案した。本提案手法では,「正解・不正解」による判定に加え,設問ごとの「難易度レベル」と「解答所要時間」を考慮したLT/R・W図を用いて,要因の特徴を8つのタイプに分類し,詳しく分析することができた。また,この手法では,分析のためのデータをシステムが学習の経過とともに自動的に収集するため,学習者に直接の学習活動以外の手間を要求したり,教授者に分析に必要な別の資料を要求したりすることなく,個々の学習者に解答に関する学習診断情報を提供することができた。さらに,本研究では,提案手法を実装したシステムを用いた実証実験を行い,システムが提供した分析結果が学習者にとって有益な学習診断情報であることをアンケート調査により確認した。

謝辞 本研究を進めるにあたり,システムについてご意見をいただき,また,実験にご協力いただいた会津大学コンピュータネットワーク学講座の皆さんに感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 清水康敬: e-Learningの在り方と展開の視点,教育システム情報学会誌, Vol.20, No.2, pp.238-246 (2003).
- 2) 佐藤隆博: 教育情報工学入門, p.103, コロナ社 (1989).
- 3) 池田 央: テストの科学—試験にかかわるすべての人に, 日本文化科学社 (1992).
- 4) 佐藤隆博: 教育情報工学入門, pp.101-150, コロナ社 (1989).
- 5) 佐藤隆博, 赤堀侃司, 倉田政彦: 教育情報工学の応用, コロナ社 (1991).
- 6) 佐藤隆博: S-P表分析の活用, 明治図書 (1998).
- 7) 佐藤隆博: 教育情報工学入門, pp.163-166, コロナ社 (1989).
- 8) 永岡慶三, 呉 亜棟: 回答所要時間を加えた統合S-P表における項目の難易度と弁別度について, 電子情報通信学会論文誌A, Vol.J75-A, No.2, pp.414-421 (1992).
- 9) 永岡慶三, 呉 亜棟: ファジィ変換に基づく学習応答時間マトリックスの解析, 電子情報通信学会論文誌D-I, Vol.J74-D-I, No.2, pp.95-100 (1991).
- 10) 三輪和久, 下村 勉: S-P表に基づく理解度ポテンシャルの定義とその実証的考察, 電子情報通信学会論文誌A, Vol.J76-A, No.9, pp.1359-1367 (1993).

- 11) 西野和典, 横山 宏, 石桁正士: 授業における学習者の内的状態を把握するためのシステムの開発と活用, 教育システム情報学会誌, Vol.15, No.4, pp.238-243 (1999).
- 12) 津森伸一, Alieu Dumbuya, 磯本征雄: 学習状況評価のための選択問題システムの構成と効果, 電子情報通信学会学術研究報告, ET2003-106, pp.47-52 (2004.3).
- 13) 中村喜宏, 赤松則男, 桑原恒夫, 玉城幹介: 操作時間間隔の変動に着目した CAI 学習の行き詰まり検知方法, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J85-D-I, No.1, pp.79-90 (2002).
- 14) 松本寿一, 中易秀敏, 森田英嗣, 亀島鉦二: 教育支援のための教材学習履歴分析システム, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.9, pp.3596-3607 (1999).

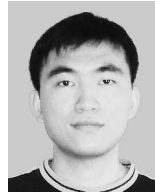
(平成 17 年 9 月 2 日受付)

(平成 18 年 9 月 14 日採録)



甘泉 瑞応 (学生会員)

1963 年生. 1987 年上智大学法学部卒業. 2003 年会津大学大学院コンピュータ理工学研究科修士課程修了. 現在, 同大学院博士後期課程在学中. e-Learning システム, 事例ベース推論システムの研究開発に従事. 電子情報通信学会, 人工知能学会各会員.



孫 勝国 (学生会員)

1978 年生. 2001 年千葉工業大学工学部情報ネットワーク学科卒業. 2003 年会津大学大学院コンピュータ理工学研究科修士課程修了. 現在, 同大学院博士後期課程在学中. 知的 CAI, 推論システムの研究開発に従事.



程 子学 (正会員)

1957 年生. 1993 年東北大学大学院工学研究科博士課程修了. 同年会津大学講師. 1999 年会津大学助教授. 現在, 会津大学教授. 分散アルゴリズム, 遠隔教育, 心理エージェント, ユビキタス・ラーニングの研究開発に従事. IEEE, ACM, 電子情報通信学会各会員.