

■S3 群 (脳・知能・人間) - 11 編 (教育支援システム)**3 章 教育設計・評価・分析**

(執筆者：植野真臣) [2010年3月 受領]

■概要■

近代哲学では、「知識」を永遠不変なるものから、それらは個々に独立なものとして捉えることができず枠組みとしてしか意味をなさないといった解釈や、概念や言葉の定義そのものが時代や社会によって変化していくために社会的な背景なしでは解釈できないといった捉え方に変化してきている。それにともない、近年、学習理論の流れは教授主義から構成主義に移行しつつあり、教育設計・評価・分析の考え方も大きく変化している。

教授主義は、学習が教師から学習者への一方的な知識の注入と捉えるのに対し、構成主義では学習者自身が能動的に知識を構成する過程として捉える。これらにともない、学習評価の考え方は、より現実的で真正なものへ変化しようとしている。

具体的には、これまでペーパーテストでのみ測定されていた能力をより実践的な環境で評価するための手法が提案されてきている。例えば、マルチメディアを用いた現実的な環境を再現したり受検者に対話的に質問できる e テスティングやレポートなど学習成果物を蓄え共有する e ポートフォリオ、学習者同士で学習成果物を評価しあうピアアセスメント、e ポートフォリオや e ラーニングで大量に蓄えられた学習履歴のデータマイニングなどの技術が注目されてきている。

本章では、上述したような現状を踏まえて、教育設計・評価・分析について解説する。

【本章の構成】

本章では、教育設計・評価・分析の開設として、教育工学におけるデータ解析 (3-1 節)、e テスティング (3-2 節)、e ポートフォリオ (3-3 節)、ピアアセスメント (3-4 節)、教育情報のマイニング (3-5 節)、教育工学における形式手法 (3-6 節) について述べる。

■S3 群-11 編-3 章

3-1 教育工学におけるデータ解析

(執筆著：永岡慶三) [2010年3月 受領]

統計数理研究所 北川源四郎氏は、電子情報通信学会、情報・システムソサイエティ誌、第14巻第3号(通巻56号)巻頭言において、物質・エネルギー・情報に関する科学につぐ、第4の科学とも呼ばれるデータ中心科学の今後の発展を提示している¹⁾。この指摘に呼応するかのように、教育工学におけるデータ解析研究は、従来の研究対象としての学から実用的利用の道具へ、また研究の主題から研究の補助への転換点にあるといえる。

後に見るように、データ解析を主題とした研究論文数自体は減少傾向にあると同時に、本格化するネットワーク時代・知識社会において教育工学の主要テーマとなる e ラーニングの急速な普及にあるなか、今後の高等教育を中心とする教育・学習には新たに質的保証・高度化が要求され、それに対応するため教育データ解析は新たな役割と展開を模索している。

教育工学という研究領域が成立して半世紀近く経過し、電子情報通信学会では教育工学研究会(当初は教育技術研究会)が1967年に発足して以来、2009年度で42年目になる。2008年5月23日(金)には電子情報通信学会 教育工学研究会(ET: Educational Technology)の40周年記念研究会が開催された。この間、当研究会は教育工学の部分集合領域としての教育データ解析研究に少なからぬ貢献をしてきた。学会誌2009年11月号では、文末の引用文献欄に示すように、章立ての7件の解説論文からなる小特集“学力評価の最前線”が特集された²⁾。それらは学力評価に関わるデータ解析的な技術面に関する解説論文なので参照されたい。本節では紙幅の関係で、限られた範囲で教育データ解析手法の事例を紹介する。

3-1-1 主たる対象はテスト得点データ

教育工学におけるデータ解析すなわち「教育データ解析」とは、テスト得点をはじめとする計量的データを対象とした解析手法のことである。データ解析が用いられるのは、学校や企業内教育・生涯学習の場などにおいても、テスト得点を扱う教育評価の場面が多い。学習者の観点を強調する学習評価の語もあるが、教育評価にほぼ同義でありここでは区別しない。

教育評価を目的とする得点データは主にテストによって得られるが、テスト以外にも各種の測定手段がある。レポートなどの客観的に採点・計量化がしにくいデータ、授業出席、討論参加状況などのポートフォリオ、あるいは意欲・態度・適性などの尺度測定データや、授業過程における教師と学習者のコミュニケーション状態のデータなどである。それぞれに一般的な統計手法を基本とした手法、あるいは更に教育データの特性を加味したいくつかの教育データ解析特有の手法も開発・提案されてきた。

3-1-2 研究論文数の動向

さて、教育の場におけるデータ解析は1960年代に教育工学の言葉が誕生した当初からの主要な研究領域であった。当時はコンピュータの教育利用はCAI(Computer Assisted/Aided Instruction)とCMI(Computer Managed Instruction)に大別されていた。前者のCAIが、コンピュータが直接学習者に対して教育・学習過程を支援するのに対し、後者のCMIは教師によ

る学習指導を成績や得点のデータ処理により支援するコンピュータ活用法であった。当初、CMI は教育の機械化や画一化など批判的な目で見られることもあったが、その目的は逆にコンピュータの計算能力援用による、個々人のデータに基づくきめ細かい個別学習指導の実現にあった。

当時、ICT という言葉はまだなく電子計算機の呼称が使われていた社会背景にあり、相対的にバッチ処理による計算機能がコンピュータの利用価値に重きをなす時代背景にあった。CAI に対比して CMI は教育工学研究の全体を二分するほどに、教育データ解析は大きな存在で研究も盛んであった。しかし、その後のコンピュータのメディア機能の進展とネットワーク整備によるコミュニケーション機能の発展、またデータ解析分野においても統計パッケージの進歩・普及により、研究対象から実際利用へと活用趣旨は移行して、研究対象としてはその論文数は減少傾向にある。

表 3・1 第1ディケイド、第2ディケイド、第3ディケイドの解析手法比較

数学的方法	第1ディケイド (1976～1986)	第2ディケイド (1986～1996)	第3ディケイド + α (1996～2009)
【多変量解析】	27	33	4
相関分析	7	3	0
因子分析	7	12	4
クラスタ分析	4	2	0
判別分析	2	0	0
数量化Ⅲ類	2	1	0
主成分分析	2	1	0
重回帰分析	1	2	0
数量化Ⅰ類	1	2	0
数量化Ⅱ類	1	3	0
分散分析	0	7	0
【統計的検定】	24	18	0
t 検定	12	10	0
χ^2 検定	8	4	0
F 検定	3	4	0
$k-s$ 検定	1	0	0
グラフ理論	12	20	0
時系列データ分析	12	6	4
【分布のあてはめ】	4	3	1
回帰分析	3	2	0
非線形最小自乗法	1	1	0
【情報理論】	5	2	0
エントロピー関数	3	2	0
エントロピーモデル	1	0	0
AIC	1	1	0
ファジー理論	2	7	3
ベイズ統計	2	1	4
項目応答(反応)理論	0	4	6
ニューロ	0	1	0

1994年に発足し、教育工学を主たる研究領域とする日本教育工学会において、1985年に開催された第一回大会以来、研究発表のセッションに「教育評価・データ解析」が存在し続けてきた。当初は教育評価とデータ解析（あるいはデータ分析）は別々にセッションが立てられていたが、最近では統合されている。しかも内容的には教育評価の方法論を理論・実践において論じる研究が多くを占め、数式記述のない報告もそのセッションには多く登場する。また、日本教育工学会論文誌投稿票に示された「3. 分野（該当すると思われる分野に○印を付けて下さい。複数回答可）」の項には“教育評価”はあっても“データ解析”はない。

表 3・1は最近の約30年間余りの教育データ解析手法の10年（ディケイド）ごとに区切った推移である。第3ディケイドは1996～2009年で10年間より長い、現在までとした。第1ディケイドについては参考文献1)に、第2ディケイドについては参考文献2)による。第3ディケイドは主に日本教育工学会論文誌における検索機能において論文にあげられたキーワードより調査した。表 3・1より解析手法の時代的推移を概観するに、論文の主題として解析手法研究があげられる数は少なくなっていることが明らかである。

しかし、これは単に必要性が消滅したとか、使われなくなったということではない。第1ディケイドのころは、多変量解析を用いる例はまだ多くはなく、その適用があればそれが研究の特徴とされた向きもあった。現在、統計パッケージの進歩普及もあり、調査項目の多いデータの解析などにおいては常識的手段となっており、わざわざ題名やキーワードに記述しなくなったことが大きい。実際に論文内容を見れば、因子分析をはじめとする多変量解析の使用は当たり前のように多いことが分かる。こうしたことは研究の成果が実用化に至った証とみることもでき、教育データ解析研究が目指した結果であったとも言える。例えば、研究の手段というより教育の手段として、大学教育環境の一部に整備されるべきものとなっている⁵⁾。

また、この間に教育データ解析研究の枠組みの変化あるいはパラダイムの変換が生じていることにも理解が必要である。このことについてはこの節の最後に再び述べることにする。

3-1-3 テスト得点のデータ解析

冒頭にも記したように、教育データ解析の主たる対象はテスト得点データである。テスト得点のデータ解析とは、次の式(1)のようなデータ行列から、そこにどのような仮定や条件を導入し、どのような視点・目的を置いて情報を算出・抽出するか問題とみなすことができる。

今、 N 人の受検者が n 項目からなるテストを受検して得られる次の (N, n) 型行列の得点一覧表が基本型である。

$$X = (x_{ij}), \quad i = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, n \quad (1)$$

ここに x_{ij} は受検者 i の項目 j に対する得点である。式(1)に解析対象となる情報はすべて含まれている。実際のテストでは、項目 j の配点を h_j として、 $0 \leq X_{ij} \leq h_j$ であるが、通常は $h_j=1$ 、すなわち正答であれば $x_{ij}=1$ 、誤答であれば $x_{ij}=0$ の1-0得点である場合が多い。更に、一般には x_{ij} は後述のように、個体の項目に対する反応カテゴリなどの非数量的属性データや回答所要時間などの場合もある。

3-1-4 テスト理論

近隣領域の計量心理・心理統計の一分野としてテスト理論がすでにあつた。テスト理論は

古典的テスト理論と項目応答理論 (IRT: Item Response Theory, 項目反応理論とも呼ばれる) に大別される。

(1) 古典テスト理論⁶⁾

古典的テスト理論では、テスト結果として得られる実測得点 X は、想定上の真得点 T に測定誤差 e が加わったものとして、 $X = T + e$ をモデルの骨子とする。このモデルに基づきテストの信頼性を定量的に算定 (推定) する信頼性係数などの重要な各種の基本指標が提唱された。Cronbach の α 係数はテスト項目群の等質性 (内部一貫性、単一・同一の能力を測定している程度) を計算のよりどころとしており、実施されたテストの信頼性を 0.1 の数値データで表現する。式(1)のもと、次式のように定義される。

$$\alpha = n/(n-1) \left[1 - \sum_{j=1}^n p_j (1 - p_j) / \sigma^2(X) \right]$$

ここに、

n : 項目数, p_j : 項目 j の正答率 ($0 \leq p_j \leq 1$),

x_{ij} : 受験者 i の項目 j に対する得点 ($x_{ij} = 1, 0$)

$\sigma^2(X) = (1/N) \sum_{i=1}^N (\mu(X) - X_i)^2$: 各受験者の得点 X_i の分散

$\mu(X) = (1/N) \sum_{i=1}^N X_i$: 各受験者の得点 X_i の平均点 ($0 \leq \mu \leq N$)

$X_i = \sum_{j=1}^n x_{ij}$: 受験者 i のテストの得点 ($0 \leq X_i \leq n$)

である。

数値が 1. に近いほど、そのテスト結果は信頼性が高い。日本の大学入試センター試験のように多くの受験者が受験する大規模テストでは、通常は多肢選択式項目のテストが用いられるが、多肢選択式テストでは信頼性は 0.7~0.8 は必要だとか (センター試験の英語の試験は信頼性係数が 0.85 から 0.90 程度の水準に達するという)、論述式テストでも 0.5 くらいはなければ、といった具合である。

(2) 項目応答理論⁷⁾

受験者の学力に潜在変数を仮定して記述する。コンピュータ利用機会が潤沢になって以来、それまで理論はあっても実用上は困難であった項目応答理論 (項目反応理論) が実用化された。その代表格である 3-パラメータロジスティックモデルでは式(2)に示すような確率関数を仮定する。困難度 b_j , 識別力 a_j でテスト項目 j の特性を記述し、潜在特性 (能力) θ_i を有する受験者 i の項目 j に対する正答確率 $P_j(\theta_i)$ を

$$P_j(\theta_i) = (1 - c_j) / \left[1 + \exp(-a_j D(\theta_i - b_j)) \right] + c_j \quad (2)$$

のように定義する。 c_j は受験者能力が著しく低くても偶然正答する確率で、例えば k 肢の多肢選択式項目であれば $c_j = 1/k$ などとする。また D は数値を調整するための定数で 1.7 とされることが多い。一般には潜在特性 θ は多次元であると考えるのが普通だが、実用上は 1 次元で扱われることが多い。式(2)の正答確率は図 3・1 のようになり、これを項目特性曲線と呼ぶ。

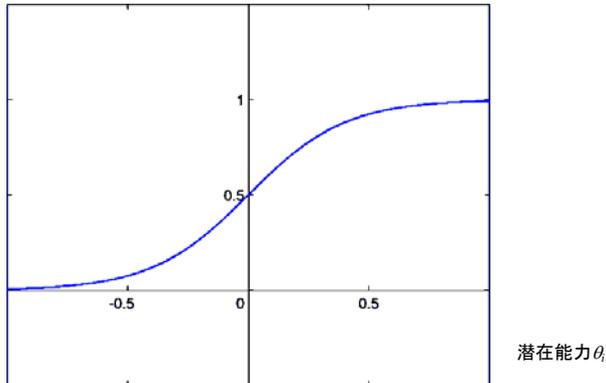


図 3・1 項目特性曲線 (図は “<http://ja.wikipedia.org/wiki/ロジスティック曲線>” より)

通常, $P_j(\theta)$ は項目間で互いに独立であることが仮定され (局所独立), n 項目からなるテストに対する受検者 i の正答確率は $T_i(\theta_i) = \sum_{j=1}^n P_j(\theta_i)$ のように和で書ける利便性がある。

古典的テスト理論と項目反応理論とを比較すると, 前者は記述統計的で担任クラスの得点や成績を扱う場合などの特定少数の実測データについて状況情報を把握している場合においては結果を把握しやすい。一方, 項目応答理論は国家資格などの大規模試験において有効である。その有効性は, 主に次のとおりである。

- ・ 受検項目を選択できるテストのような異なるテストに対する得点の合理的等化 (等整合とも, 難易などの影響を除去した比較が可能) ができる。
- ・ 欠測データの調整ができるなどアイテムバンク (テスト項目のデータベース) 構築に便利である。
- ・ 適応型テスト (受検者の回答履歴により適切な出題をする) の基本的動作機能に適する。

インターネット利用による Web テストを含む, コンピュータによるテストシステムは e テスティングと呼ばれる^{8),9)}。e ラーニングシステムの一部として, あるいは独立したシステムとして, 今後, 教育データ解析の土俵として研究開発, 実用化の進展が見込まれる。

3-1-5 得点データに対する教育工学特有の解析手法

教育工学分野で生まれた教育データ解析手法としては, S-P 表解析, 回答所要時間の解析, グループ学力の測定・評価などがある。

(1) S-P 表解析

S-P 表¹⁰⁾とは図 3・2 のように, 式(1)の得点一覧表について受検者側を得点順に, 項目側を正答数順に並べ替え, 受検者の得点に応じて引かれた S 曲線と, 項目の正答数に応じて引かれた P 曲線を描き加えた得点一覧表である。S 曲線, P 曲線は実際には折れ線である。一般にはテストの各項目には配点があるが, 1-0 得点を対象にすることが多い。S-P 表は通常, 一つのクラスくらいの数十人の受検者数と項目数 10~40 くらいのサイズが多く見られる。こ

のような場合には普通、観察者はそのクラスを担当する教師であり、自分で出題した項目群と、よく知る受検者（学習者）集団からなる得点データであるから、S-P 表を参考にしつつ学習者の学習状況の把握や、学習指導法の改善に活用できるのである。

☆☆☆☆☆ 順位	☆☆☆☆☆ 氏名	☆☆☆☆☆ 席番	S-P 表	21.11.9 1-1	グローバル	S350	P340
			1 2 1 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2		正 誤 正 得	注 意	
			2637968245305149748235101		答 答 率 点	係 数	
1		19	11111111111011000011110001		19 8 76.0 38	0.56	
2		20	11111010101110100011110111		18 7 72.0 36	0.96	
2		29	11111111011011110001010110		18 7 72.0 36	0.47	
4		7	111111111111000011000011		17 8 68.0 34	0.34	
4		12	111110011111101110011000		17 8 68.0 34	0.45	
4		16	111111110011110101100100		17 8 68.0 34	0.43	
4		21	111111111011100011100010		17 8 68.0 34	0.38	
8		9	011111111011100000100001		16 9 64.0 32	0.58	
8		11	111111010111001101011000		16 9 64.0 32	0.47	
8		27	111111111111000101001000		16 9 64.0 32	0.18	
11		5	110111111111101110000000		15 10 60.0 30	0.21	
11		24	111111111110010010000000		15 10 60.0 30	0.14	
11		26	111111011110001001010000		15 10 60.0 30	0.29	
11		35	1111111111110100000000100		15 10 60.0 30	0.12	
15		8	111000011101111110000000		14 11 56.0 28	0.43	
15		15	111111111001110000000000		14 11 56.0 28	0.15	
15		18	110101111010101011000000		14 11 56.0 28	0.52	
15		22	111111110100000011001000		14 11 56.0 28	0.38	
15		25	111110110110111100000000		14 11 56.0 28	0.23	
15		37	111110111001111100000000		14 11 56.0 28	0.25	
21		6	110111010111000011000000		13 12 52.0 26	0.45	
21		28	111111111110010000000000		13 12 52.0 26	0.07	
21		32	111101110111111000000000		13 12 52.0 26	0.19	
24		2	111111101010001000000100		12 13 48.0 24	0.26	
24		4	111101111000001100100000		12 13 48.0 24	0.33	
24		10	111111001010111000000000		12 13 48.0 24	0.24	
24		30	111110110000111010000000		12 13 48.0 24	0.34	
24		31	111100111110001010000000		12 13 48.0 24	0.22	
29		36	101101011111000000000000		11 14 44.0 22	0.26	
30		14	111110011100000000000000		10 15 40.0 20	0.05	
30		33	111001101110001000000000		10 15 40.0 20	0.18	
30		34	111110101010101000000000		10 15 40.0 20	0.15	
33		1	111000000101011000000100		9 16 36.0 18	0.62	
33		3	101101000101000010000000		9 16 36.0 18	0.28	
35		13	111011100000100000000000		8 17 32.0 16	0.13	
36		17	110011100000011000000000		7 18 28.0 14	0.39	
37		23	100100000110000010000000		6 19 24.0 12	0.41	
					13.4	53.41	
正答者数			333332222222111111		11.6	26.7	
			6443077786541876531876544		平均正答者数 19.8		
正答率			999887777766544443221111				
			7119133300746853059186300				
			3326357612644791542314511				
			3392100033693692517692588		平均正答率 53.4		
注意係数			100000000100000100000000				
						
			3226357612644791542314511				
			09998777777665444322111				

図 3・2 S-P 表：受検者とテスト項目がそれぞれ高点順に並べ替えられている

大きい順に並べるという S-P 表の作成過程は、スムージングによりデータの特徴が図表現

されることに基本がある。列で左側に及び上側に“1”が、行で右側に及び下側に“0”がくる性質があり、これにより左上部に存在する“0”点や右下部に存在する“1”点は、何か普通でない理由の可能性について、個々の学習者や出題した項目を念頭に検討の必要が示唆される。

これを更に定量的に示して特に便利なのは、図 3・2 中にも示されている注意係数である。全体に対し異質な得点パターンをもつ受検者及び項目を数値で示す。計算式は省略するが注意係数の値は、行でいえば“1”が左詰めになっている場合、列でいえば“1”が上詰めになっている場合に 0 となり、全くランダムに並ぶとほぼ 1 になる。例えば、項目の左から 10 番目にある No.25 の項目は図の下の方の注意係数の欄を見ると 1.27 とあり、その列で 1 と 0 が混じり合い、かなり異質あるいは悪問であることが示唆される。S-P 表の解析ソフトでは、受検者について得点と注意係数の、項目について正答数と注意係数の、各散布図が出力され検討しやすい。

(2) 回答所要時間の解析

学習者集団に演習問題などの課題を与え、課題終了までの時間を何らかの手段で測定することで、回答（応答）所要時間データ行列が得られる。式(1)において行列の要素 x_{ij} が時間の場合である。回答所要時間は、以前は教室内でレスポンスアナライザにより測定された。最近では e ラーニングなどの学習履歴より自動的に測定される。

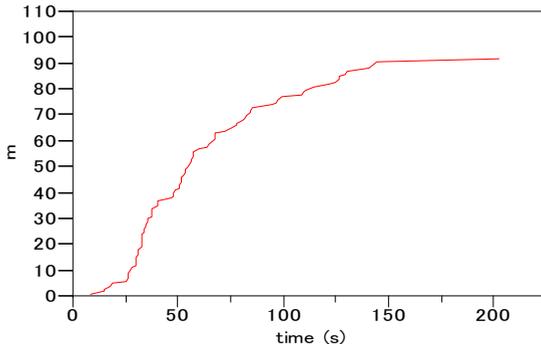


図 3・3 集団学習応答曲線（横軸は経過時間、縦軸は応答率）

式(1)の一つの列のデータ、すなわち一つの課題に対する回答所要時間データについて、図 3・3 に示すように、時間経過にそって累積し回答率推移として表示したグラフを集団学習応答曲線という。その形状に対して、歴史的にワイブル分布、マクギル分布、ガンマ分布などの各種の数理モデルが提案されてきた。それらを包括的に代表する拡張ガンマ分布に基づくモデルが最終的に提案された¹¹⁾。これは式(3)の拡張ガンマ分布関数の累積分布として式(4)で集団学習応答曲線を表現するものである。

$$f(t) = t^{\alpha-1} \exp(-t/\beta) / [\beta^\alpha (\alpha-1)!] \quad (3)$$

$$F(t)=0, \quad t < t_0, \quad \int_{t_0}^t = f(t) dt, \quad t \geq t_0 \quad (4)$$

課題あるいはテスト項目について、モデルが包含する二つのパラメータ「 α : 思考の複合度」、 β : 単純な思考過程の平均所要時間」が算出され、これにより出題された課題あるいはテスト項目についてその特性を評価し、学習者の回答の状況を把握することが可能となる。

また、回答所要時間データ行列について S-P 表解析も行われる¹²⁾。こうした回答所要時間の解析により、e ラーニングにおいてデータマイニングにおける異常値検出技術の応用として、アクセスしていても勉強してない状態や不正行為の検出への応用などがされている¹³⁾。

(3) グループ学力の測定・評価

これまで個人に対するものでしかなかった「学力」を拡張し、グループに対する能力や学力を「グループ学力」として測定評価する方法も提案されている。

グループ学力の測定については、個々人の個別学力から理論的に推定する手法と複数受検者が協同して回答するグループ受検により直接測定する方法の二通りがある。今、式(2)において、識別力パラメータ a_j が大きい項目、すなわち漢字や英単語のような知識の有無のみで確定的に正誤が決まるような項目からなるテストについては理論的な正答確率は、式(5)のようになる。ここに CG はグループ構成員間のコミュニケーション効果の項とする。なお、これまではテスト側だけにしかなかった前述の古典的テスト理論における信頼性(内部一貫性)の仮定が必要である。

$$P_j(\theta_G) = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - P_j(\theta_i)] + C_G \quad (5)$$

上記のグループ学力推定値とグループ受検による実測得点とを比較することで、グループ間で効率的なコミュニケーションが行われたか、どのようなグループ構成をするとグループ学力の向上が見込めるかなどについて、示唆が得られる¹⁴⁾。

3-1-6 その他の解析方法・その他のデータ形式

(1) 多変量解析

教育データ解析ではアンケート回答や印象評価により得られる、式(1)のデータ行列の要素が評定尺度となるデータを扱うことが多い。大規模な調査研究の場面では特にそれらに対する解析方法として各種の多変量解析の技法が用いられる。そのうち、表 3-1 に示されるようにキーワードとしては現れないが、圧倒的に多いのは因子分析である。ただし、主因子法×バリマックス回転といった標準型の適応にとどまり、それ以上の仮定を導入した想定モデルの提起などはあまりない。このことは教育工学の研究趣旨からして、解析結果自体が研究目的ではなく、むしろその結果を用いてどのように教育・学習過程の改善を行ったかといった方法の提案などに研究目的があるので、むしろ手法は定型が好まれることに大きな理由がある。

その他に調査対象の構造表現のためのクラスタ分析、要素間の関連をみる重回帰分析、日本教育工学手法の実験結果の評価のための分散分析などが目立つ。例えば学習者特性にパス解析を適用する。

(2) 系列化・グラフ理論

ベイジアンネットワークや確率ネットワークによる項目の系列化やニューラルネットワークの利用による評価支援方法の開発¹⁵⁾、学習履歴データのグラフ構造分析、項目や教材の構造化技法へのロジカルフローグラフ解析¹⁶⁾やそのファジィ理論との組合せなどがある。また、ファジィ理論もいくつかの利用例がある¹⁷⁾。

(3) 生体情報

得点データ以外に生体情報を解析する研究も教育工学分野で伝統的に行われている。眼球運動や脳波を計測して、学習への影響を解析するなどの研究である¹⁸⁾。

(4) 質的評価

また、教育評価において質的分析の考えも、巷の受験競争に連動した偏差値教育など行き過ぎた数値表現に対するアンチテーゼとして提唱されているが、ここでの話題には含めなかった。解析の本質を理解しないまま機械的数値に振り回される態度への警鐘としての質的評価の指摘には賛同するが、そこにおいても論理を重ねるためには結局定量的表現にならざるを得ない。

その考え方には本来、“解析”の語感のもつ本領は計量化にあり、データの計量的扱いとそれにより導かれる論理こそ科学の本来であるとする。

3-1-7 おわりに 一実験心理学的枠組みから実時間情報縮約／データマイニングの枠組みへ

当初、解析の対象としてのデータ自体が貴重であった。得点データの測定のためのメディアはペーパーテスト中心の紙媒体であったから、測定したとしてもデータ入力に多大な労力を有した。また、解析過程の枠組みも、人間を対象に自然科学的計量方法をもって分析することでは少し先輩の領域である計量心理学にならい、数理モデルを仮定し実験計画を立て、得られた貴重なデータを工夫して解析し、できるだけ一般性のある結果を得ようとするものであった。

前述の CAI/CMI の分類でいえば、教育データ解析の居住地であった CMI はその昔バッチ処理でデータをその都度解析していたのが、一方の学習指導を主たる機能とする CAI がやがてネットワーク化され e ラーニングにランクアップされると、データ解析機能はその一部に吸収合併された形となった。そうして今やデータについても、実時間処理が必要になり、蓄積段階で必要のないデータをいかに捨てるかという、貴重データの一時代前とは立場は逆転したのである。今後、教育データ解析にとって必要に迫られるのはそうした膨大なデータの中から教育上有益な情報を手早く抽出し、教育・学習過程の支援に有効な評価情報として活用していく手段やノウハウである。

■参考文献

- 1) 北川源四郎, “情報・システム研究機構の挑戦,” 電子情報通信学会 情報・システムソサエティ誌, 第 14 巻, 第 3 号, (通巻 56 号), 巻頭言, 3-3, 2009.
- 2) “小特集学力評価の最前線,” 電子情報通信学会誌, vol.92, no.12, 平成 21 年 12 月号, 小特集 学力評価の最前線, 2009.

以下に上記の小特集の章立てと該当ページ数を示す。

- ・編集チームリーダー藤芳明生(編),“小特集編集にあたって,” pp.1007-1007.
 - ・“項目応答理論—TOEFL・TOEIC等の仕組み—”
 - 大友賢二,“古典的テスト理論における不可能を可能にする理論,” pp.1008-1012.
 - ・“ニューラルテスト理論—資格試験のためのテスト標準化理論—”
 - 荘島宏二郎,“テストで順位付けするための点数の分解能を考察する,” pp.1013-1016.
 - ・“e テスティング—最先端テスト技術—”
 - 植野真臣,“ダイナミックな作問・試験・採点システムの可能性と未来像,” pp.1017-1021.
 - ・“テストのユニバーサルデザイン”
 - 藤 芳衛,“すべての受験生に公平かつ適切な試験を設計するためには,” pp.1022-1026.
 - ・“グループ学力の測定”
 - 永岡慶三,“グループ学力の概念とその考え方を知る,” pp.1027-1030.
 - ・“教育評価とテスト”
 - 山森光陽,“テスト研究と教育心理学の協同が開くテスト技術の教育的発展,” pp.1031-1035.
 - ・“小論文自動採点”
 - 石岡恒憲,“小論文自動採点システムの最新動向と課題を紹介,” pp.1036-1041.
- 3) 永岡慶三,“教育情報科学における数学的方法,” 教育情報科学 3 教育とデータ分析, 第一法規出版, pp.1-32, 1988.
 - 4) 竹谷 誠,“数理モデル,” 日本教育工学会論文誌, vol.20, no.4, pp.227-238, 1997.
 - 5) 佐藤 篤, 藤原康宏, 鈴木克明,“教育データ解析システムの開発,” 日本教育工学会研究報告集, JSETO 5-6, pp.59-64, Nov. 2005.
 - 6) 池田 央,“現代テスト理論,” 朝倉書店, 1994.
 - 7) 豊田秀樹,“項目反応理論,” 朝倉書店, 2002.
 - 8) 植野真臣, 永岡慶三(編著),“e テスティング,” 培風館, 2009.
 - 9) 植野真臣,“e テスティング: 先端理論と技術,” 教育システム情報学会誌, vol.26, No.2, pp.204-217, 2009.
 - 10) 佐藤隆博,“S-P 表の作成と解釈,” 明治図書, 1975.
 - 11) 植野真臣, 永岡慶三,“ガンマ分布による e ラーニング所要時間データのオンライン解析,” 日本教育工学会論文誌, vol.29, no.2, pp.129-137, 2005.
 - 12) 永岡慶三, 呉 亜棟,“コンピュータ・テストングにおける回答所要時間についての分析,” 日本教育工学雑誌, vol.12, no.4, pp.129-137, 1989.
 - 13) M. Ueno,“Web-based Computerized Testing System for Distance Education,” Educational Technology Research, vol.28, pp.59-69, 2005.
 - 14) 永岡慶三,“グループ学力の測定,” 電子情報通信学会誌, vol.92, no.12, pp.1027-1030, 小特集 学力評価の最前線, pp.5, 2009.
 - 15) 荘島宏二郎,“ニューラルテスト理論: 資格試験のためのテスト標準化理論,” 日本テスト学会第 7 回大会, pp.70-73, Sep. 2009.
 - 16) 神保智広, 富田 聡, 近藤秀文, 竹谷 誠,“ロジカルフローグラフを用いたグループ学習の学習効果測定と評価,” 日本教育工学会第 24 回大会講演論文集, pp.509-510, 2008.
 - 17) 上江洲弘明, 新海公昭, 山下 元, 箭内美智子, 津田 栄,“ファジィ分割樹形図の分析と応用,” 日本教育工学会第 22 回大会講演論文集, pp.477-478, 2006.
 - 18) 後藤卓司, 中山 実,“数字記憶課題における脳波への音環境の影響,” 電子情報通信学会論文誌 (D), vol.J87-D1, no.3, pp.420-423, Mar. 2004.

■S3 群-11 編-3 章

3-2 e テスティング

(執筆者：植野真臣) [2008 年 10 月 受領]

Web 上でテストを実施することを「e テスティング (e-Testing)」¹⁾と呼び、近年、実用化が進んでいる。e テスティングは、オンラインテスト (Online Testing) やオンラインクイズ (Online Quiz)、IBT (Internet Based Testing) などとも呼ばれる。e テスティングが普及する前、パーソナルコンピュータが一般に普及し始めた 1980 年代からコンピュータ上でテストを行うことは実用化スタートしていた。この時代はインターネットが普及していなかったため、スタンドアロン型コンピュータ上でテストが実施され、このようなテスト形態を一般に“CBT (Computer Based Testing)”と呼んでいた。当時は、フロッピーディスクなどの物理媒体にテスト実施システムと質問項目ファイルをコピーして学習者に配布し、学習者の回答もそれらの媒体に電子的に記録してテスト終了後に回収するという実施方法をとっていた。

1990 年代よりインターネットが普及し、テストの配信、回収もインターネット上で行えるテストシステムの開発が盛んになった。更にその少し後に e ラーニングが大きく注目され始めたことにより、e テスティングは e ラーニングのツールとしても注目され始め急速に実用化してきたのである。また、CBT が開発され始めた 1980 年代～1990 年代冒頭までは、CBT の欠点としてコンピュータリテラシーのない受検者が不利益を得ることが懸念されていた。

その後、1990 年代後半よりコンピュータの一般家庭への普及が進み、上記のような差が減少し問題として捉えられなくなってきた。このことも e テスティングへの普及を促進させたと考えられる。例えば、TOEFL や TOEIC で有名なアメリカの ETS (Educational Testing Service) も 2006 年でこれまで実施してきた CBT を全廃し、Web 上で受験する e テスティングに完全移行を行っている。このように、e テスティングは e ラーニングより古くから独立に発達してきた歴史をもつ。近年では、先進的な e テスティング技術を積極的に e ラーニングに利用しようとする試みも多くなってきている。

3-2-1 e テスティングの利点

e テスティングは単にペーパーテストをコンピュータに置き換えただけのものではない。具体的には、e テスティングの利点として、以下があげられる¹⁾。

- (1) ペーパーテストに比較し、テストの印刷、運搬のコストが減少する。
- (2) 大量のペーパーテストの束を管理することに比較し、電子ファイル上のテストは管理が容易でセキュリティも高い。
- (3) テスト実施に際して、テストの配布、回答の回収が自動的に行える。
- (4) テスト採点が、自動化もしくは半自動化される。小論文方式のテストでさえ自動採点できる。更に即時的にテスト結果をフィードバックできる。
- (5) アイテムバンクの領域からランダムに項目の抽出が行え、テスト出題バイアスを減少できる。
- (6) コンピュータによるテスト構成支援機能は、信頼性と妥当性の高いテスト構成を可能にする。

- (7) 適応型テストなど受検者の能力を随時推定しながらその能力に最適な項目を選択出題するような動的テストを実現し、テスト時間を短縮し、測定精度も向上させることができる。
- (8) 様々なテスト目的に応じたテスト出題方略をもつことにより、目的に応じたテスト構成や適応型テストを実現できる。
- (9) マルチメディア技術を用いることにより、これまで測定することのできなかった能力を測定できるテスト項目を構築、実施できる。
- (10) 回答所要時間や回答変容回数、回答見直し回数などペーパーテストでは測定することができなかったデータが測定することができるようになり、テスト項目評価の多様性をもたらし、補助的に用いることにより測定精度を向上させることができる。
- (11) 障害をもつ受検者への対策が容易に行える。例えば、字を大きくしたり、ヘッドホンをつけさせて音を大きくしたり、特別な入力装置（手以外で入力できる入力装置）、出力装置（点字など）を用いることにより障害者の受検を可能にすることができる。
- (12) 遠隔地にいる受検者の評価を行うことができる。
- (13) 遠隔地に分散するテスト作成者が、共同でアイテムバンクを構築し、テスト構成を行うことができる。

以上のように、e テスティングは、単にペーパーテストをコンピュータに置き換えただけではない利点をもたらすことが分かるであろう。

3-2-2 テスト理論

e テスティングの理論的根拠として一般に、計量心理学や統計学で発展してきたテスト理論 (Test Theory) が用いられる。テスト理論は、テストの「妥当性」(Validity) と「信頼性」(Reliability) を保証するための理論で、ほとんどのハイステークステスト (入学試験や資格試験、昇格試験などテスト結果が受検者にとって重要な影響を与えるテスト) で用いられている。

テストの妥当性には、①項目内容に誤りがないこと、②項目がテスト全体の測定対象をよく反映していること、の二つが重要であり、これらは質的にテスト開発者が吟味しなければならない。信頼性の指標としては、テストを三つ以上の部分テストに分けてそれらの相関係数を求めることによって得られる「アルファ係数」などが一般的であるが、後述の項目反応理論のパラメータなどが最近では信頼性指標として用いられることが多くなってきている。

テスト理論は、①テストの信頼性と妥当性の概念を規定し、記述統計学の枠組みで信頼性指標などを規定している「古典的テスト理論」²⁾ (Classical Test Theory) と、②項目に対する受検者の正答確率を項目特性パラメータと受検者の能力パラメータによりモデル化した項目反応理論³⁾ (Item Response Theory) に大別される。

項目反応理論の利点は、(1)異なるテストを受けた受検者を同一尺度上で評価できる、(2)テストに依存しない項目特性パラメータ (識別力と難易度) を得ることができ、テスト情報量最大化原理に基づくテスト構成が可能となる、(3)受検者の項目への反応に適応して情報量最大化となる項目を選択・出題する適応型テストを実現できる、などがあげられ、一般に e テスティングの基本原則として用いられる。

3-2-3 システム構成

e テスティングとは、項目データベースであるアイテムバンクから複数のテスト開発者がネットワークを介してブラウザ上でテスト構成するのを支援し、ネットワーク上で多くの受検者に対してテスト配信を行い、それらを自動採点し、受検者や管理者にフィードバックを送信するとともにデータ解析した結果よりアイテムバンクを更新することをシステム上で一貫して行えるシステムをいう。また、必要に応じて、適応型テストを同一のアイテムバンクを用いて実現できる場合がある。e テスティングの一般的な仕組みは図 3・4 に示すとおりである。

e テスティングの流れは、アイテムバンクの構築から始まる。そのためには、まず教科を決定し、その領域目標を整理しなければならない。これらが整理できれば、複数もしくは一人のテスト開発者が、設定されたすべての領域を埋め尽くすように項目入力支援システムを通じてアイテムバンクに項目に関するメタデータを入力していかねばならない。テスト実施されると項目特性パラメータなど統計的なメタデータが自動的に推定され、自動的にアイテムバンクの該当するメタデータが更新される。テスト構成はネットワーク上で一人もしくは複数のテスト開発者がテスト構成支援システムを用いて行う。特に、e テスティングではテスト構成がネットワーク上でブラウザを用いてどこからでも行えることが特徴である⁴⁾。

構成されたテストは、項目 ID 集合として図 3・4 のテストデータベースにテスト ID (識別子) をともない格納され、いつでも Web 上でテスト実施ができる状態となる。テスト構成中のテストの得点分布や所要時間分布を予測したり⁵⁾、現在のテスト構成状況に適した質問項目を推薦する機能をもつことができ、質問項目 Web 上で複数のテスト構成者が協働してテスト構成を行える環境を提供するシステムも開発されている⁶⁾。

最新研究では、同一のテスト得点分布をもつ異なる複数の等質なテストを、数理計画法を用いて自動構成するシステムも実用化段階に入りつつある¹⁾。

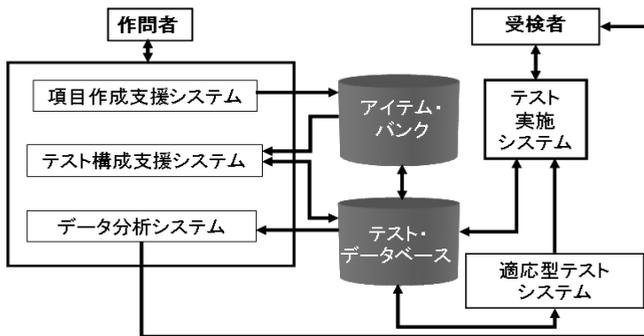


図 3・4 e テスティングの構成

テスト実施システムは、テストデータベースの情報を読み取り、アイテムバンクよりテスト期間や受検者制約に応じて質問項目を抽出してテストを配信するシステムである。e テスティングでは、ビデオや音声を用いた質問項目を配信することができ、これまでペーパーテストでは測定できなかった能力を測定できるようになることも重要な特徴である。例えば、

語学テストでは動詞の概念などはビデオを用いて表現すると非常に明確になるし、科学実験や音楽などもビデオを用いることにより多様な評価が行えるようになっている。

テスト実施システムは、学習者の項目への回答を逐次、テストデータベースに保存するだけでなく、所要時間や見直し回数、回答の書き直しプロセスなど詳細な回答履歴データを蓄積していく。このことも、これまで正誤データのみを情報としてきたペーパーテストとは異なり、これまで得られなかったような回答履歴データより多様な評価を実現できるのである。

受検者の反応データは、データ解析システムに送信され、まず、自動採点される。当初、コンピュータの得意な自動採点は、多枝選択式項目、真偽式項目のみで行われてきた。しかし、近年、自然言語処理の技術が発達し、単答式項目や論述式項目の自動採点が導入されつつある¹⁾。

各項目への正誤データが生成され、項目所要時間、回答書き直し回数、項目見直し回数などとともにテストデータベースに書き込まれる。データ解析システムは、これらのデータを解析し、即時的にフィードバックを返すシステムである。フィードバックは、(1)受検者、(2)テスト実施者、(3)アイテムバンク、の三方向へ行われる。(1)受検者には得点データや偏差値、診断結果などテスト目的に応じたフィードバック、(2)テスト実施者には(1)のフィードバックに加えて、テスト自身の信頼性などを計算した指標や項目別の情報をフィードバックし、(3)アイテムバンクには項目に関する様々な統計解析の結果が自動的に書き込まれるのである。

3-2-4 適応型テスト

e テスティングの技術で現在最も注目されているものが適応型テスト¹⁾ (computer adaptive testing : CAT) である。適応型テストとは、テストへのそれまでの回答履歴を用いて逐次、受検者の能力を推定しながら、その能力に最も適応した項目をアイテムバンクより抽出しながら出題するというものであり、すでに多くのテスト業界で実用化されている。適応型テストの利点は、以下があげられる。

- (1) 受検者の能力に最適な項目を出題することにより、能力の推定効率を上げる。
- (2) 難しすぎたり、易しすぎる項目が出題されないために、受検者のフラストレーションやテスト不安を減少させる。
- (3) 推定効率が向上するために、ペーパーテストと同じ精度を保って出題項目数を減少させることができ、受検者の負担を減少させることができる。

当初、項目情報量として、フィッシャー情報量が用いられてきたが、近年では、能力推定値の推定誤差を考慮した完全項目情報量や数理計画法を用いてすべての領域から出題するなどの制約付き出題機能などが提案されるとともにそれらの高速計算に関する研究¹⁾が盛んに行われている。

3-3-5 e ラーニングにおける e テスティング

e ラーニング分野では、知識の捉え方として、真の知識が存在するわけではなく、個々の人間がそれぞれの中で構成していくものである「構成主義」の立場をとり、真の知識を学習者に伝達しようとする「教授主義」から学習者自身の自律的学習（知識構成）を支援する「学習者中心主義」への移行を狙っている。この文脈の下、e ラーニングでは学習者自身に項目

を作問させて実際にテストや演習問題に用いる方法が注目されている。「問題作り」が問題解決能力や問題分類能力を向上させ、学習者のメタ知識を発達させる働きがあることが示されている⁷⁾。

■参考文献

- 1) 植野真臣, 永岡慶三(編著), “e テスティング,” 培風館, 2008.
- 2) 池田 央, “現代テスト理論,” 朝倉書店, 1994.
- 3) 芝 祐順(編著), “項目反応理論-基礎と応用-,” 東京大学出版会, 1991.
- 4) M. Ueno, “Web based computerized testing system for distance education,” Educational Technology Research, vol.28, pp.59-69, 2005.
- 5) ソンムアン・ボクボン, 植野真臣, “e テスティングにおける得点・時間予測システムの開発,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J91-D, no.9, 2008.
- 6) ソンムアン・ボクボン, 植野真臣, “統合型 e テスティングの開発と実践,” 日本テスト学会誌, vol.4, no.1, pp.54-64, 2008.
- 7) S. Brown and M. Walter, “Problem Posing: Reflections and Applications,” L.E.A., 1993.

■S3 群-11 編-3 章

3-3 eポートフォリオ

(執筆著：森本康彦) [2008年10月 受領]

近年、欧米の大学を中心に多くの機関において、電子ポートフォリオ（以下、“eポートフォリオ”）の利用が急速に拡大してきており、日本でも高等教育や企業内人材育成において、eポートフォリオの有効活用が求められるようになった。

eポートフォリオの定義は、大きく以下の二つに分けることができる。

広義の定義：「電子的な形式で扱われたすべてのポートフォリオ」

狭義の定義：「ポートフォリオを作成するためのソフトウェアまたはポートフォリオをマネジメントするためのシステム」

広義の定義による eポートフォリオでは、従来の紙ベースのポートフォリオを電子的に扱ったものすべてが含まれる。しかし現在、一般に学術的に eポートフォリオという言葉を用いる場合には、後者の定義が用いられることが多い。この定義では、特に 2000 年頃より開発され実用され始めている、継続的にポートフォリオをマネジメントするための統合システム（以下、“eポートフォリオマネジメントシステム”）を eポートフォリオと呼ぶ。これは、eポートフォリオとは、従来の紙ベースのポートフォリオを単に電子的に保存したファイルを指すのではなく、多量のポートフォリオを有効かつ効率的にマネジメントしながらコンピュータにより継続的な学習・評価を支援する仕組みのことを意味しているものである。これら新しい仕組みの下で、これまでのポートフォリオを用いた学習・評価を超える可能性をもっている。

3-3-1 eポートフォリオの成り立ち

eポートフォリオ利用の広がり背景には、学習理論と評価理論のパラダイム変換が大きく関係している。1960年代に全盛を誇った行動主義、その後の認知主義の時代においては、絶対的な知識を伝達するための学習指導（学校化された学習）が求められ、評価方法は主に客観的能力測定法であるテストを用い、その結果のみを重視した。

しかし、構成主義の台頭と共に絶対的な知識観が崩壊し、学習活動や課題などが現実的なものでなくてはならないという真正な学習 (Authentic Learning) が求められるようになった。この真正な学習では、必要な知識を収集・統合し適切な判断を下しながら課題解決を図る力が必要とされるが、この能力はテストだけで評価することは不可能であるため、学習プロセスを通じた継続的な学習成果物や学習履歴データなどの記録（以下、“学習の証拠”）を重視し、これらを用いて学習者のパフォーマンスを多面的に評価する真正な評価 (Authentic Assessment) が合わせて求められるようになった。この際に、学習の証拠となるものがポートフォリオであり、従来は、紙ベースのものが用いられていたが、現在は eポートフォリオが主流となってきている。

3-3-2 e ポートフォリオの特徴

e ポートフォリオの特徴として、以下があげられる。(1)は、e ポートフォリオの広義の定義の下での特徴であり、(2)と(3)は、狭義の定義における特徴であると言える。

(1) デジタルデータの利点を活かした処理

- ・ 内容の再配列や編集，統合が容易に行うことができ，テキストデータだけでなく，画像，音声，動画などのマルチメディアデータを扱うことができる。
- ・ HTML 形式や PDF 形式，ワープロやプレゼンテーション用ソフトウェアのファイルなど，必要に応じたファイル形式への変換が容易に行える。
- ・ 多量なデータを様々な記憶媒体へ保存可能で，保存されたデータは劣化せず，複製も容易に行える。

(2) コンピュータネットワーク上での複数の相互作用を利用した活動

- ・ コンピュータネットワークを通してのアクセスが可能である。
- ・ 学校内（機関内）だけでなく地理的に離れた人々との相互作用が期待できる。

(3) コンピュータの計算／推論機能による活動支援

- ・ コンピュータによる学習活動及び評価活動の支援が期待できる。
- ・ 多種で大規模なデータ処理を可能にする。

3-3-3 e ポートフォリオを用いた活動と評価

真正な学習・評価では，学習プロセスにおいて評価が学習の一部として組み込まれ一体化しており，切り離すことができない²⁾。つまり，ポートフォリオを有効的に活用するための活動（以下，“ポートフォリオ活動”）を学習プロセス中に埋め込むことが求められる。ポートフォリオ活動は，ポートフォリオを作成し収集する活動（ポートフォリオ開発）のほかに，ゴール設定（目標設定：Goal Setting），ルーブリック（評価基準：Rubric）の作成・確認，ポートフォリオのセレクション（精選：Selection），セルフアセスメント（自己評価：Self-assessment），ピアアセスメント（相互評価：Peer Assessment），他者評価に分けられる。ここで，ピアアセスメントとは，学習者同士が相互に行う評価であり，他者評価は，専門家や教師，保護者らが行う評価である。

学習プロセスにおいては，これらポートフォリオ活動を通して生み出されるデータや情報を，容易に必要なに応じた形式で，学習成果物や学習履歴として作成・編集・統合し，より多くの意図した学習の証拠を収集することができる。学習者は，その収集した学習の証拠を直接用いてセルフアセスメントを容易に行うことができ，更に，ネットワークを介すことによって，ピアアセスメントや他者評価の回数が増し密な相互作用が期待できる。そして，学習者は学習プロセスを通して，自らの学習をモニタリングし，必要に応じて学習計画を修正しながら学習を自らコントロールすることで，メタ認知能力の育成も期待できる。このように，ポートフォリオ活動が活発に行われることにもない，学習者自ら学習活動を振り返る機会が増加し，より多くのリフレクションが誘発され，自律的な学習の生起が期待できる。

3-3-4 ポートフォリオの内容

収集するポートフォリオの内容は，「学習成果物に関するポートフォリオ」，「評価の記録に

関するポートフォリオ」,「学習プロセスの記録に関するポートフォリオ」と「その他のポートフォリオ」に大別され,更に表 3・2 に示す内容に分類される³⁾.

表 3・2 ポートフォリオの内容

種類	ポートフォリオの内容	
学習成果物に関するポートフォリオ	作品	見本に習って作った作品
		自分で独自に作った作品
	レポート	まとめ
		感想・気づき
	作業物	授業の記録
		その他の記録
	資料などの収集物	
	テスト	
	成果発表会の記録	
	実技の記録	
評価の記録に関するポートフォリオ	ルーブリック	
	セルフアセスメントの記録	
	ピアアセスメントの記録	
	他者評価の記録	
学習プロセスの記録に関するポートフォリオ	学習履歴	
	逸話記録	
	会話記録	
その他のポートフォリオ	ポートフォリオ検討会の記録	

3-3-5 eポートフォリオマネジメントシステム

(1) eポートフォリオマネジメントシステムの動向

1980年代後半頃,パソコンが広く市販され,それをポートフォリオに活かそうとする動きが起り, eポートフォリオ作成ソフトウェアが用いられるようになった(例えば,文書作成ソフトやプレゼンテーションソフトといった汎用ソフトウェアと eポートフォリオを作成するための専用ソフトウェアが含まれる¹⁾).

1995年頃からインターネットの普及にともない,オンラインでのポートフォリオ活用が行われるようになると, eポートフォリオ作成ソフトウェアだけではコミュニケーションやコラボレーションなどの相互作用を行う手段に乏しいという問題点が指摘されるようになり,そこで,その欠点を補うために,コミュニケーションツールを併用し,より有効的な eポートフォリオ活用を実現させようとする動きが起りはじめた(例えば,電子メールツールなどの汎用ツールのほか, Web ベースの各種サービス, CSCL が含まれる¹⁾).

しかしながら, eポートフォリオ作成ソフトウェアとコミュニケーションツールの組合せだけでは,ポートフォリオ群はもちろん,利用者やコースなどの一元管理が困難であるため,全学的に(機関全体で)用いるには不向きであること,また,利用者がポートフォリオをマネジメントするための場(ポートフォリオマネジメントスペース)を提供できないなどの問題があり,それらを解決するべく,2000年頃から欧米の大学を中心に, eポートフォリオマ

ネジメントシステムが開発・運用されはじめた。

(2) eポートフォリオマネジメントシステムの実際

eポートフォリオマネジメントシステムは、「ディベロップメント系システム」と「コースラーニング系システム」に大別することができる。ディベロップメント系システムとは、キャリア開発 (Career Development) や PDP (Personal Development Planning) など、長期的・継続的な自己・専門性の成長と能力開発のために eポートフォリオを活用するシステムであり、コースラーニング系システムとは、コースにおいて eポートフォリオを活用するためのシステムである。表 3・3 に主なディベロップメント系システム、表 3・4 に主なコースラーニング系システムを示す¹⁾。

表 3・3 主なディベロップメント系システム

名 前	説 明	開発形態	主な適用機関
OSP	ポートフォリオを扱う汎用的な機能をまとめオープンソースとして提供しているシステム。利用には管理者（機関や教師など）による作り込みが必要とされる。現在は、オープンソース LMS である Sakai に組み込まれて開発が続けられている。	オープンソース	Indiana University University of Michigan University of Minnesota 他
CSO's Folio21	Folio21 / CSO Research 社提供のキャリアポートフォリオのためのシステム。履歴書作成機能など、就職支援に特化した機能がある。	商 用	The University of Oklahoma University of Colorado
Pass-Port	Louisiana Department of Education により開発されたシステム。NCATE スタンダードに対応してティーチングポートフォリオが作成可能。アメリカの大学の教育学部での利用実績がある。	商 用	Grambling State University Louisiana State University 他
Pebble Pad	Pebble Learning 社により開発され、提供されているシステム。WebFolios と呼ばれる Flash による動的なインタフェースをもった、ショーケースポートフォリオを作成することができる。イギリスの 40 以上の大学で PDP などでの利用実績がある。	商 用	University of London 他
TaskStream	TaskStream 社により提供されているシステム。ベストワークを集めたショーケースポートフォリオを作成できる。ティーチングポートフォリオのためのシステムとしても実績がある。	商 用	Purdue University Northern Arizona University 他
TK-20	Tk 20 社により提供されているシステム。ティーチングポートフォリオのためのシステムとして実績があり、NCATE、TEAC などのスタンダードに対応している。	商 用	Sam Houston State University University of Hawai'i at Manoa 他

表 3・4 主なコースラーニング系システム

名 前	説 明	開発形態	主な適用機関
Blackboard Portfolio	Blackboard 社により提供されているコース管理システム Blackboard (WebCT) に、コースとのシームレスな連携ができるポートフォリオ機能を拡張したシステム。	商 用	Northumbria University University of St Andrews 他
Moofolio	New Hampshire の SPDC (The Seacoast Professional Development Center) により開発された、コース管理システム Moodle のポートフォリオ機能拡張モジュール。	オープンソース	New Hampshire SPDC
ePEARL	CSLP (Concordia University's Center for the Study of Learning and Performance) により、リフレクションを通じた学習者中心の学習を実現するために開発されたソフトウェア。初等・中等教育機関での利用に焦点を当てている。	独自開発	Quebec English schools
PASS	コースにおけるポートフォリオ評価を支援し、学習者の自律的な学習を誘発させることを目的としたシステム。	独自開発	富士常葉大学

(3) eポートフォリオマネジメントシステムの現在の問題点と今後

現在開発され利用されているeポートフォリオマネジメントシステムは、ポートフォリオの作成・集積や学習・評価活動などの手段を提供するためのツールとしての機能を有するに留まっており、eポートフォリオの特徴の(1)、(2)を活かす役割を担っているとは言えるが、特徴(3)に対応する支援の実装がされていないという問題点が存在する。今後は特徴(3)を活かす研究・開発が必須となると考えられる。例えば、学習や評価活動を誘導・推薦する手法や、膨大なポートフォリオ群を有効的に扱う技術(データマイニングや可視化技術)の実装などが考えられる。

このように、現在のeポートフォリオマネジメントシステムは、いまだ黎明期と言えるが、今後、各分野の有用な先端技術やアプローチを導入し、特徴(3)を活かした機能を取り入れることにより、大規模で高機能な知的システムへと成長することが望まれる。

■参考文献

- 1) 森本康彦, “eポートフォリオの理論と実際,” 教育システム情報学会誌, vol.25, no.2, 2008.
- 2) 植野真臣, “知識社会におけるeラーニング,” 培風館, 2007.
- 3) Y. Morimoto, M. Ueno, I. Kikukawa, S. Yokoyama, and Y. Miyadera, “Formal Method of Description Supporting Portfolio Assessment,” Journal of Educational Technology and Society, 9(3), pp.88-99, 2006.

■S3 群-11 編-3 章

3-4 ピアアセスメント

(執筆者：藤原康宏) [2009年3月 受領]

3-4-1 ピアアセスメントの定義

ピアアセスメント (Peer Assessment) とは、学習の途上や成果として作成するレポート、作文、作品などの成果物に対して、同じ学習コミュニティに属する他の学習者が評価を行うことである。評価を評価者で分類すると、学習者による評価と、学習に直接携わった教師やテスト実施団体など第三者による評価に分けられる。ピアアセスメントは、学習者による評価の一つであり、評価のプロセスに学習者が参画することで、学習の内省を促すことや学習動機を向上させることが期待される。

学習者による評価は、他の学習者によって評価されるピアアセスメントと学習者が評価するセルフアセスメントに分けられる。自分が考えていたことや不安や気持ちは自分自身のみが知ることができるため、セルフアセスメントは自身の学習成果を振り返ることは成果物の改善に有用である。しかし、心理的に自己防衛が働き、自己の欠点を直視しない学習者が存在するため、このような学習者に対しては、セルフアセスメントの効果は限定的である。また、過大評価または、過小評価する傾向にある学習者については、セルフアセスメントの結果に対する評価が必要となる。ピアアセスメントでは、他の学習者と自身の学習成果を比較することで客観的な視点で自身の学習を振り返ることができること、同じ立場である学習者からの助言は、教師による評価よりも受け入れやすい場合が利点である。

一方、ピアアセスメントでは、評価者が学習途上の学習者であるため、評価結果の信頼性が問題となることがある。ピアアセスメントによる教育効果は、適切な評価が行われることが前提となっている。例えば、評価の観点の共有、他者評価のスキルの向上、他の学習者に行った評価に対する評価など、個々の学習者が適切に評価できるような支援が必要な場合がある。

3-4-2 ピアアセスメントの背景

(1) 学習と一体化した評価としてのピアアセスメント

情報通信技術の発達を背景にして、様々な評価システムが開発されている。池田¹⁾は、テスト技術の発展史を、「主観評定 (19世紀以前)」、「客観測定 (20世紀)」、「力量査定 (21世紀)」の三つの時代に分類している。客観測定がたどり着いた先は、コンピュータネットワークとマルチメディア技術を利用した人間の多面的力量の査定であり、そこでは教授と一体化されたシステムの開発が必要であると述べている。情報通信技術を応用した e テスティングについての詳細は、本章 3-2 節を参照されたい。

これまで、評価は目標の設計や教授・学習の場面と独立したフェーズと考えられることが多かったが、近年では、目標と評価、あるいは、教授・学習活動と評価を、それぞれ関連づける考え方²⁾が提案されている。情報通信技術の発達により、学習場面と評価が一体化した学習環境が可能となってきており、それに対応した評価方法が必要となっている。

(2) テストとピアアセスメント

テストが学習者に与える影響として、多くの研究が行われている。橋本³⁾は、誤った態度を助長する、学習を望ましくない方向に導くなど、学習動機や教育的効果の観点から、教育的に機能しない可能性を指摘した。試験前の学習者の情緒が不安定になるなどのテスト不安 (Test Anxiety) の問題が知られているが、ピアアセスメントはテストを補完する評価方法としても期待される。

Wiggins ら⁴⁾は、標準テストでは断片化した知識を文脈と切り離して評価している本物でない評価になっているのに対して、現実世界で直面する問題解決場面をシミュレートした課題で評価であるべきとする真性な学習 (Authentic Learning) の考え方を提唱した。真性な学習では、現実の社会で行われる評価と同様の評価が行われる必要がある。現実の社会で、成果に対して相互評価が行われるように、学習の場面でも、学習コミュニティのメンバーである学習者同士でお互いの成果を評価することは、真性な学習における有力な評価方法である。

(3) 協調学習における評価

学習者が学習コミュニティの中で、お互いの学習を助け合いながら学ぶ協調学習の研究が行われている。創造性、論理的思考能力、想像力、表現力の育成が重視される学力観においては、協調学習のように問題解決を通して、学習者が主体的に学ぶことができる環境を提供することが重要である。協調学習における評価は、レポートなどの成果物が対象となる。社会的構成主義の考え方に立つとき、評価は教師が一人で行うよりも、目標や価値を共有する学習コミュニティのメンバーが評価に関与する方が適切である。協調学習の研究において、学習コミュニティのメンバーが評価することによって、学習意欲が向上する、学習コミュニティが活発になるなどの効果があると言われている。

(4) e ラーニングにおける評価

学習過程に評価を組み込んだ多くの WBT (Web Based Training) の教材が開発され、実践されている。WBT では、学習者が個別に学習を進めることから、他の学習者の存在を意識することが少ないため孤独感を感じ、学習意欲を持続することが困難な場合がある。教師は一人で多数の学習者に対応する必要があることから、個々の学習者と十分なコミュニケーションを図ることは難しい。他の学習者の学習成果に対するピアアセスメントを導入することにより、学習内容の理解を助けることだけでなく、学習意欲の向上、運営コストの低減などの効果も期待される。

3-4-3 ピアアセスメントの諸課題

(1) 評価基準の共有

梶田⁵⁾は、作文やレポートなどの評価について、主観的恣意的な評価になる危険性を指摘し、評価の視点を明確にもち、時々複数人で同じ作品や作文を評価することを提案している。学習者が作成した成果物を評価する場合、作成段階で評価項目を予め提示することで、学習集団が同じ目標を共有することを助け、それを目標に成果物を作成していくものと思われる。学習者コミュニティにおいて、評価項目を共有することが、評価結果を納得して受け入れるために重要である。

(2) 評価の信頼性

学習の途上にある学習者による評価の信頼性について、実証的な研究が行われており、大学生が行う評価は、教員が行う評価と大きな差がなく、しばしば教員の評価よりも適切であることが知られている。他者を評価する能力は、他の人が行う評価をモデルにし、繰り返し訓練することで身に付けられると考えられ、他者に対して行った評価に対する評価も重要である。また、評価能力が未熟な学習コミュニティにおいては、個々の学習者が、評価によるコミュニティへの貢献と責任についても事前に理解させることが必要な場合がある。

評価者によっても評定の甘さや厳しさなど個人差があると言われており、たまたま甘い評価者にあたったのか、厳しい評価者にあたったのかによって、学習者間に不公平が生じることが考えられる。評価者の特性を考慮した、適切なフィードバックを受けることができる仕組みが求められている。

(3) 評価者の割当て方法

実際にピアアセスメントを行う際に、相互にすべての学習者を評価することは、学習者の数が増えるにつれて時間的・労力的に困難な場合が多い。そのため、評価すべき相手を選択する必要が生じるが、評価者の割当て方法が問題となる。評価者を選択する必要がある場合には、学習者を適当なサイズの小集団に分割して、その小集団内で相互にすべての学習者を評価することが行われる場合が多い。しかし、学習者がお互いに評価し合う場合とお互いに評価し合わない場合では、お互いに評価し合う場合の方が評価は甘くなる場合があり、お互いに評価し合わない方がより適切に評価できるため、お互い評価し合わないよう評価者を割り当てることが望ましい⁶⁾。

3-4-4 ピアアセスメントの実践

(1) 高等教育におけるピアアセスメント

高等教育においては、外国語教育でコミュニケーション、プレゼンテーションスキル、情報教育、プロジェクト学習などの分野で、ピアアセスメントの実践が行われており、教育効果を上げている。プロジェクト学習のような問題解決志向の学習場面では、狭義の知識獲得を目指したものではないため、その学習場面での状況と切り離して、学習者の個人内の知識のみを評価の対象とするのではなく、文脈の中で総合的に評価されるべきであり⁷⁾、ピアアセスメントは、プロジェクト学習において最適な評価方法の一つであると考えられる。

(2) ピアアセスメントの教育効果

天野と下村⁸⁾は、共同での作品制作の中間段階で、Web ベースの相互評価システムを用いた実践を行い、シンプルな評価の観点を学習コミュニティで共有することで、作品制作途中での意見の交流が活発になったと述べている。学習コミュニティは、「何らかの部分で、同じ価値、同じ目標を、人の集合・つながり」と考えることができ⁹⁾、この実践では、学習者に評価の観点を意識させることを通じて、「同じ価値、同じ目標」の共有を行っていると考えられる。

生田目¹⁰⁾は、プログラミングの授業で、グループ学習を導入し、グループ内でピアアセスメントを行わせた。その結果、プログラミングやフローチャートの理解度が向上と述べてい

る。事後に行ったアンケート結果を用いて、グループ学習の効果について分析した。因子分析の結果、ピアアセスメントで期待される教育的効果とも関連する「教え合うことによるグループ学習の効果」、「他者の良いプログラムを見ることによる効果」、「他者のフローチャートを見ることより誤りを発見する効果」の三つの因子が抽出された。

藤原ら¹¹⁾は、大学生を対象としたプレゼンテーションソフトの活用法の演習において、評価者が実際につけた評価値を、個々の評価者の評価特性を考慮して補正する機能をもったピアアセスメント支援システムを用いた実践を行った。実践では、ピアアセスメントを学習の過程で繰り返しを行い、成果物の改善と学習者の評価の変化について分析した。繰り返しピアアセスメントを行うことで、他者の成果物の短所や改善点を具体的に指摘できるようになり、より適切な評価をすることができることを示した。

(3) ピアアセスメントのためのテスト理論

植野ら¹²⁾は、e-ラーニングで得られた大量の多段階評価のピアアセスメントのデータを項目応答理論の一つである Graded Item Response Model に評価者の特性パラメータを加える拡張をし、レポートの評価を行う方法を提案した。それぞれのレポートに対して同一尺度上で合理的な評価を行うことができ、それぞれの評価者の特性として、評価基準の厳しさ、評価の一貫性を求めることができること、少数のデータや欠損値のあるデータにも適用できることが特徴としてあげられる。

■参考文献

- 1) 池田 央, “アセスメント技術からみたテスト法の過去と未来,” 日本教育工学会論文誌, vol.24, no.1, pp.3-14, 2000.
- 2) 市川伸一, “学習と教育の心理学,” 岩波書店, 1995.
- 3) 橋本重治, “学習評価の研究,” 図書文化社, 1971.
- 4) G. Wiggins, “A true test: Toward more authentic and equitable assessment,” Phi Delta Kappan, vol.70, pp.703-713, 1989.
- 5) 梶田徹一, “教育における評価の理論 I - 学力観・評価観の転換 -, ” 金子書房, 1994.
- 6) 藤原康宏, 大西 仁, 加藤 浩, “公平な相互評価のための評価支援システムの開発と評価-学習成果物を相互評価する場合に評価者の選択で生じる「お互い様効果」-, ” 日本教育工学会論文誌, vol.31, no.2, pp.125-134, 2007.
- 7) 加藤 浩, 山下 淳, 藤原康宏, 鈴木栄幸, “社会構成主義から見た相互評価の意義,” 日本科学教育学会年会論文集 30, pp.179-180, 2006.
- 8) 天野昌和, 下村 勉, “Web ベース相互評価システムによる学習集団内での評価観点の共有,” 日本教育工学会第 19 回全国大会講演論文集, pp.7-8, 2003.
- 9) 大塚雄作, “高等教育における評価の諸要素とその機能-改善指向の評価文化の形成に向けて-, ” 大学評価, no.1, pp.27-66, 2002.
- 10) 生田目康子, “ピア・レビューをとまなうグループ学習の評価-斉型プログラミング授業への適用-, ” 情報処理学会論文誌, vol.45, no.9, pp.2226-2235, 2004.
- 11) 藤原康宏, 大西 仁, 加藤 浩, “継続的な学習者間評価を導入した情報教育の実践,” 情報処理学会論文誌, vol.49, no.10, pp.3428-3438, 2008.
- 12) 植野真臣, ソンムアン・ポクボン, 岡本敏雄, 永岡慶三, “ピアアセスメントにおける評価者特性を考慮した項目反応理論,” 信学論(D), vol.J91-D, no.2, pp.377-388, 2008.

■S3 群-11 編-3 章

3-5 教育情報のマイニング

(執筆者：望月俊男) [2009年3月 受領]

近年普及してきた e ラーニングや、情報通信技術を活用した教育支援システムを活用することで、様々な教育情報を入手し、解析することが可能になってきた。特に e ラーニングでは、いわゆる学習管理システム (Learning Management System : 以下 LMS) 上で学習コンテンツの閲覧、課題への解答、電子会議室上の議論への参加などの学習活動を行うので、従来の授業や研修で得ることができない詳細な学習活動履歴データを容易に蓄積することができる。だが、こうしたデータが蓄積されたとしても、その量が膨大であり、それを整理・解析し、適切に学習・教授活動に活用するために教師や学習者に分かりやすく提示するためのデータマイニングの手法の開発と評価は、重要な研究課題となっている。ここでは教育情報のマイニングの利用目的を四つに分け、それぞれの研究開発の現状について述べる。

なお、これらのマイニングを実現するための情報科学的な手法に関する詳細な説明は、植野¹⁾が詳しく報告しているので併せて参照されたい。

3-5-1 LMS に蓄積されるデータとデータマイニング

LMS には、受講者管理、コース作成、コース受講管理、学習コンテンツの管理、学習履歴記録、学習進捗・成績管理機能などが搭載されている。学習履歴記録機能は、データベース上に学習者の様々な活動を逐一記録することができる。具体的には、学習者 ID、学習オブジェクト ID、ログイン回数、訪問回数、学習活動 ID、訪問タイプ、訪問日時、回答、学習結果、学習所要時間、電子掲示板への投稿データなどが蓄積される。多数の学習者が継続してアクセスし、学習することで膨大なデータが蓄積される。この中から、データベース工学と統計解析を基盤技術として、学習支援・教育支援に重要な情報の発見・抽出を行う。

3-5-2 学習活動を評価し、改善するためのマイニング

進行中の学習活動に対して形成的評価を行い、個々の学習者の学習活動を改善するための指導や介入を行うのに、e ラーニングや教育支援システムのデータマイニングは利便性が高い。特に e ラーニングでは、個々の学習者の顔や進捗状況が、対面の授業に比べて見えにくいいため、学習者の状況把握・形成的評価を適確に行うことが難しい。そこで、LMS に蓄積されているログや学習成果 (学習コンテンツの閲覧記録、問題への解答、正答率など) をもとにして、主に二つの方向性からマイニングが行われている。

第 1 は学習の異常プロセスの検知である。学習活動の遅滞やコンテンツの飛ばし学習、飽きてほかのことをする、行き詰まって悩むといったことを異常学習プロセスとして検知し、教師や学習支援者に伝えることで、学習者に介入しやすくなる²⁾。

第 2 は学習活動の予測と助言である。学習履歴データの様々な変数 (学習トピック数、学習平均所要時間、アクセス数など) を説明変数、最終成績を目的変数として、決定木によって逐次予測し、学習者に予測成績をフィードバックすることができる³⁾。また、決定木やベイジアンネットワークを用いて、過去の優秀な学習者との差異を抽出し、その差異に対応してどのように学習するべきかアドバイスを生成し、学習者に提示することもできる⁴⁾。一方、

学習履歴データではなく、学習方略に関するアンケートデータを活用し、優秀な成績となる学習方略との差異を提示し、学習方略の助言を行うシステムも開発されている⁵⁾。

こうした情報をもとに、学習者が自律的に学習活動を評価・判断し、適切に改善・修正していくことが期待される。

3-5-3 学習コンテンツを推奨するマイニング

学習者の学習状況や達成状況に応じて、適応的にコンテンツを推奨・提示することで、学習者は内容を理解しやすくなり、最終的な到達度を高めようとする事ができる。こうした支援においてもマイニングは有効である。

この種のマイニングは、知的 CAI あるいは ITS の時代からの研究の蓄積がある。主な手法としては、相関ルール、クラスタリング、ベイジアンネットワークがある。e ラーニングにおいては、主に二つの方向性でリコメンデーションが行われている。

第1は、ハイパーメディアコンテンツのナビゲーションを指向するものである。主にコンテンツや学習活動の遷移データを対象にして学習プロセスルールの抽出を行い、ナビゲーションを実現する。例えば、学習コンテンツを遷移したデータに対して相関ルールを適用し、学習遷移マップを作成し、適切な学習コンテンツのナビゲーションを実現するシステムや、学習履歴データから学習者をクラスタリングし、同一クラスタに属する学習者に対して学習コンテンツのリコメンデーションを行うシステム⁶⁾がある。

第2は、学習者の理解度に応じて適切なコンテンツを提示するものである。例えば、ベイジアンネットワークの推論機能を直接用いて学習者の理解度を予測しながら適応的なコンテンツ提示を行ったり⁷⁾、学習者の操作ログデータをもとにして、次の操作が分からない学習者にヒントを与えるシステムが開発されている⁸⁾。また、サポートベクターマシンを使って、学習履歴データを説明変数、学習効率(成績/時間)を目的変数として分析・学習させ、各学習者の学習成果を予測しながら、宿題などのコンテンツを自動的に構成するシステムも開発されている⁹⁾。

3-5-4 学習成果物を評価するためのマイニング

非常に多数の学習者が受講・学習する e ラーニングの場合、その学習過程の形成的評価のみならず、総括的評価を行ううえでも、マイニングによる教師の効果的な支援が不可欠である。特に択一式あるいは複数選択式の問題を適応的に出題したり評価する技術は、e テスティング(本編3章3-2を参照)で述べられているが、記述式テストを行うこともあり、そうした場合には多くの成果物を採点する教師の支援が不可欠となる。

エッセイやレポートの自動採点は、欧米を中心に大規模コーパスをもとにした確率・統計的アプローチが成功してきており、石岡¹⁰⁾はその最近の動向をまとめている。しかし、自動採点システムに対しては、コンピュータがテキストの意味を正確に理解できない、モデルのセットアップに多大な労力がかかるなどといった批判もある。

一方、採点者による主観的評価を支援するためのマイニング技術も開発されてきている。例えば、大量のレポートを内容の類似・非類似度によってクラスタリングして可視化することにより、教師の採点上の系列効果を軽減する支援をするシステムが開発されている¹¹⁾。

また、昨今 Web ページからのコピー&ペーストによるレポートの剽窃が問題となっている

が、それに対して、n-gramを用いた類似度評価手法を応用して、Webテキストとの類似を見るシステムも開発されている¹²⁾。

3-5-5 協調学習におけるマイニング

複数の学習者が協同・協調しながら学び合う協調学習(本編2章2-3を参照)が、近年教育・学習の方法として注目され、多くの教育現場で導入が進められている。協調学習では、学習者が社会的状況の中で、他の学習者あるいは道具(アーティファクト)と相互作用しながら協同的に可視化し、達成されるものとして能力を捉える。こうした学習観のもとでは、能力は、個人の潜在的で一般的な特性として捉えるべきではなく、学習者間のコミュニケーションネットワークを介して行われた知的活動の中で現れたものを捉えることになる。

そこで、協調学習に関する教育情報として、電子掲示板やメーリングリスト上で展開する学習者間のコミュニケーションやディスカッションの履歴をマイニングし、教育評価を行うおうとする研究が進んでいる。その方向性は二つに大別できる。

第1の方向性は、ディスカッションの内容をテキストマイニングにより定性的に分析するものである。ディスカッションの形態素解析をもとに、語の共起性をもとにして重要度を定義し、その内容を要約したり¹³⁾や、エントロピー尺度を計算することにより電子掲示板の議論の活性度を評価するシステム¹⁴⁾が開発されている。また、電子掲示板に表れる重要語を教師が定義したうえで、ディスカッション内容をコレスポネンズ分析で解析することで、各学習者が参加しているトピックを可視化するシステムが開発されている¹⁵⁾。これら議論の内容の可視化に特化したマイニングでは、学習者や教師がディスカッションの内容を俯瞰したり、会議室の活性度を評価して、学習者が参加するうえでの目安にしたり、教師やコーディネータがディスカッションを改善するために用いられる。

第2の方向性は、社会ネットワーク分析(Social Network Analysis)を用いて、学習者間の知識の共有や創発に対する貢献や、知識の獲得・交換・構築のダイナミクスを定量的に解析するものである。学習者のディスカッションへの投稿、返信、閲覧、非閲覧などの活動はすべて蓄積されていることから、こうした分析が可能となってくる。例えば、ネットワーク中心性や媒介性の高い学習者は、様々な知識の交換や構築に携わったと解釈することができ¹⁶⁾、ディスカッションのコーディネートや評価を行うに当たって有効である。最近では、複雑系科学のアプローチにより、学習者間のマイクロなインタラクションと、そのインタラクションが創発するマクロのネットワークのダイナミクス、あるいはマクロなネットワークがマイクロなネットワークに与えている影響などを複雑ネットワーク分析により可視化し、コミュニケーションの系全体の特性を評価しようとする研究も行われている¹⁷⁾。

3-5-6 マイニング結果の活用のためのビジュアル表現

マイニングの結果は、情報科学や数理科学に精通していない教師や学習者にとっては解釈が難しいことが多いため、より分かりやすく提示することが求められる。

例えば、LMS上にアニメーションキャラクタを登場させ、そのキャラクタが自動エージェントとして解説やアドバイスを代弁してくれる機能をもたせたり³⁾、マイニングの結果情報に対してメタファなどの表現を付与して関係を理解しやすくする方法などが提案されている⁵⁾、¹⁵⁾。これらの情報表現により、教師や学習者がマイニングの結果を理解しやすくなり、

学習に役立てやすくなったことが報告されている。こうしたビジュアル表現を適確に付与することが、マイニングの結果を活用するうえで重要なポイントである。

■参考文献

- 1) 植野真臣, “e ラーニングにおけるデータマイニング,” 日本教育工学会論文誌, vol.31, no.3, pp.271-283, 2007.
- 2) 植野真臣, “e ラーニングにおける所要時間データの異常値オンライン検出,” 電子情報通信学会論文誌 (D), vol.J90-D, no.1, pp.40-51, 2007.
- 3) M. Ueno, “Animated agent to maintain learner’s attention in e-learning,” Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2004, pp.194-201, 2004.
- 4) M. Ueno and T. Okamoto, “Intelligent Bayesian agent as a facilitator in e-Learning,” Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2006, pp.3084-3092, 2006.
- 5) 松河秀哉, 北村 智, 永盛祐介, 久松慎一, 山内祐平, 中野真依, 金森保智, 宮下直子, “データマイニングを活用した学習方略フィードバックシステムの開発,” 日本教育工学会論文誌, vol.31, no.3, pp.307-316, 2007.
- 6) F. H. Wang and H. M. Shao, “Effective personalized recommendation based on time-framed navigation clustering and association mining,” Expert Systems with Applications, vol.27, no.3, pp.365-377, 2004.
- 7) 鈴木智樹, 藤原祥隆, 岡田信一郎, 吉田秀樹, “ユーザ適応型 e-Learning システム KUSEL の設計,” 情報処理学会研究報告, no.29(20040315), pp.169-174, 2004.
- 8) N. Tselios, A. Stotica, M. Maragoudakis, N. Avouris, and V. Komis, “Enhancing user support in open problem solving environment through Bayesian network inference techniques,” Educational Technology & Society, vol.9, no.4, pp.150-165, 2006.
- 9) C. J. Huang, S. S. Chu, and C. T. Guan, “Implementation and performance evaluation of parameter improvement mechanisms for intelligent e-learning systems,” Computers & Education, vol.49, no.3, pp.597-614, 2007.
- 10) 石岡恒憲, “記述式テストにおける自動採点システムの最新動向,” 行動計量学, vol.31, no.2, pp.67-87, 2004.
- 11) 椿本弥生, 赤堀侃司, “主観的レポートの系列効果を軽減するツールの開発と評価,” 日本教育工学会論文誌, vol.30, no.4, pp.275-282, 2007.
- 12) 高橋 勇, 宮川勝年, 小高知宏, 白井治彦, 黒岩文介, 小倉久和, “Web サイトからの剽窃レポート発見支援システム,” 電子情報通信学会論文誌(D), vol.J90-D, no.11, pp.2989-2999, 2007.
- 13) 石原雅芳, 赤堀侃司, “課題付き討論支援のための議論要約システムの開発,” 日本教育工学会論文誌, vol.22, no.1, pp.1-12, 1998.
- 14) 松河秀哉, 中原 淳, 西森年寿, 望月俊男, 山内祐平, “電子掲示板上での学習者の活動を把握する指標の検討,” 日本教育工学会論文誌, vol.28, no.1, pp.57-68, 2004.
- 15) 望月俊男, 久松慎一, 八重樫文, 永田智子, 藤谷 哲, 中原 淳, 西森年寿, 鈴木真理子, 加藤 浩, “電子会議室における議論内容とプロセスを可視化するソフトウェアの開発と評価,” 日本教育工学会論文誌, vol.29, no.1, pp.23-33, 2005.
- 16) C. Haythornthwaite, “Building social networks via computer networks: Creating and sustaining distributed learning communities,” K. A. Renninger and W. Shumar(ed.), “Building Virtual Communities: Learning and Change in Cyberspace,” Cambridge: Cambridge University Press, pp.159-190, 2002.
- 17) 安武公一, 多川孝史, 山川 修, 隅谷孝洋, 井上 仁, “e-Learning 学習環境において形成されるコミュニケーション・ネットワークの構造的な特性を分析する試み,” 日本教育工学会論文誌, Vol.31, No.3, pp.359-371, 2007.

■S3 群-11 編-3 章

3-6 教育工学における形式的手法

(執筆著：宮寺庸造) [2008年10月 受領]

本節では、eラーニングや教育支援システムの設計・開発に形式言語やオートマトンの理論を導入した、いくつかの事例を紹介する。特に、システム構成やシステムの振舞いのモデルを形式的に記述することにより、システム開発が飛躍的に向上できることを確認する。

3-6-1 形式的手法とは

システムの設計や開発には何らかのモデル記述が必要である。その際、図・表や自然言語で記述（非形式的手法）した場合、システムに対する入出力、システムの振舞いなどを、曖昧なく厳密に表現することは困難である。そこでソフトウェア工学分野では、集合などの道具を用いて数学的に記述する手法（形式的手法）を提案し、この問題の解決に取り組んでいる¹⁾。

3-6-2 教育工学分野における形式化の流れ

教育工学分野の研究では、図表と言葉による非形式的な手法でシステムのモデルを記述していることが多い。

近年では、eラーニングの普及と発展にともない、eラーニング上で扱うデータ（例えばコンピテンシ、学習者情報、学習メタデータ、コンテンツなど）を共有・再利用したいというニーズから、多くの標準化が策定されている^{2),3)}。これら標準化の規定にXML表記が多くの場面で用いられている。XML表記は静的な構造表記に適し、XMLタグによって属性名を指定しタグ間で属性値を挟み、データを階層的に表現できることから、有効利用されている。しかし、動的に変化する対象（例えば学習状況の変化）などを表現するには、XMLでは十分ではない。

一方、ソフトウェア工学分野では、近年UMLに注目している。UMLはソフトウェア開発工程に即して様々な側面からの分析・設計に役立っている。しかし、オブジェクト的な設計に向いていることから一般には受け入れ難く、非形式的な扱いも残っている。

そこで、これらに代わる何らかの手法が必要とされる。以降の節では、形式言語や有限オートマトンを用いた形式的記述によって、動的に変化する対象の扱いに成功した事例を紹介する。

3-6-3 形式言語を用いた学習指導計画書作成支援

指導計画書は、年間指導計画書、月間指導計画書、単位時間当たりの授業における指導計画書のように、対象とする期間によって記述内容や形式が異なる。更に、対象科目や作成者によって、指導計画書の構造、例えば使用する記述項目名、その個数や記述順序、表を取り入れた際の縦・横方向の意味やそれらに用いる記述項目など、が異なる。このような状況下で、指導計画書のデータベース化、共有・再利用化を考えた場合、指導計画書のデータベース化と構造の柔軟性との間に、トレードオフが存在する。

指導計画書の構造に制限を多くすることは、データベース化を容易にし、共有・再利用を

し易くするが、構造の柔軟性に欠ける。一方、指導計画書の構造に柔軟性をもたせることにより作成者の意図した構造の指導計画書の作成が可能となるが、データベース化に困難が生じる。更に、他の教師が作成した指導計画書の一部をコピーして再利用することを考えた場合、構造が異なっていることから、記述項目間の対応関係が崩れ矛盾が生じたり、意味の異なる記述項目の内容をコピーしてしまう恐れがある。

参考文献 4) では、このようなトレードオフの問題を解消すべく、指導計画書の形式的記述を提案している。計画書作成支援システムは、プログラム言語の文法記述のように指導計画書の構造を形式言語で記述した内容 (図 3・5) を参照することで、記述項目や構造に矛盾が生じないよう制御し、利用者の意図に沿う指導計画書の作成を支援する。

図 3・5 に指導計画書の構造を形式的に記述した一部を示す。

```

<Procedure>::=<Proc. Introduction><Proc. Development><Proc. Conclusion>|<Proc. OriginalItem>+
<Proc. Introduction>::=<Proc. Step>+
<Proc. Development>::=<Proc. Step>+
<Proc. Conclusion>::=<Proc. Step>+
<Proc. NonTitle>::=<Proc. Step>+
<Proc. OriginalItem>::=<Proc. Step>+
<Proc. Step>::=[Proc. LearningStyle] {[Proc. TimeAllowance]} (<CLASSROOM>|<GROUP>|<INDIVIDUAL>)+
  {[Proc. KeepInMind]} {[Proc. Blackboard]} {[Proc. Note]} {[Proc. OptionalItem]}*
<CLASSROOM>::=[Proc. Contents][Proc. LearningActivities] ([Proc. Questions][Proc. Responses])
  {[Proc. Media]} {[Proc. Materials]} [Proc. Assessment]
<GROUP>::=( [Proc. Aim][Proc. Contents]<Proc. GroupActivities>+[Proc. Grouping][Proc. Assessment] )+
<INDIVIDUAL>::=( [Proc. Aim] [Proc. Contents]<Proc. IndividualActivities>+[Proc. Assessment] )+
<Proc. GroupActivities>::=[Proc. LearnerActivities][Proc. supports] {[Proc. Media]} {[Proc. Materials]}
  [Proc. Rolls]
<Proc. IndividualActivities>::=( [Proc. LearnerActivities][Proc. supports] ) {[Proc. Media]}
  {[Proc. Materials]} [Proc. IndividualDifferences]
<Supplement>::=[ [Conclusion] ] [Reference] [OptionalItem]*

```

図 3・5 指導計画書の構造の形式的記述

図 3・5 において、<> は非終端ノード、[] は終端ノードを表し、{} は省略可能ノード、+ は 1 回以上繰り返し、* は 0 回以上繰り返しを表す。/ は、いずれかを適応することを意味する。これらの組合せが、様々な構造の指導計画書の記述を実現させ、構造に柔軟性を与えかつ矛盾のない指導計画書の記述が期待できる。

図 3・5 では、授業計画の詳細内容 (<Procedure>) を示している。詳細内容は、導入 (<Proc. Introduction>)、展開 (<Proc. Development>)、まとめ (<Proc. Conclusion>) の組合せから構成される場合と、それ以外 (<Proc. OriginalItem>) の構成を考慮している。学習形態がグループ学習 (<GROUP>) のときは、学習のねらい [Proc. Aim]、学習内容 [Proc. Contents]、グループの活動 <Proc. Group Activities>、グループ編成 [Proc. Grouping]、評価 [Proc. Assessment] を組みとしており、これを学習内容が異なるグループ数に応じて記述できる。更に、グループの活動 <Proc. GroepActivities> は、学習者の活動 [Proc. LearnerActivities]、教師の支援 [Proc. Supports]、使用メディア [Proc. Media]、使用教材・資料 [Proc. Materials]、役割 [Proc. Rolls] を組みとしており、

グループ内で異なる活動を行う学習者（たち）数に応じて記述できる。ただし、使用メディア [Proc. Media], 使用教材・資料 [Proc. Materials] は省略可能である。

指導計画書の構造変更や記述項目の追加・削除などは、指導計画書の形式的記述を書き換えることで、システムのソースコードの変更なく、ダイナミックに行える。

3-6-4 オートマトンを用いた e ラーニングシステム

これまでの e ラーニングシステムは、学習者の受講受付、コース管理、教材の管理・配信など、コンテンツを中心とした機能が主であった。ここでは、学習を管理するのではなく単に学習データを管理するにすぎない。実際の現場では、学習者の状況や環境に合わせて、議論させたり、演習問題を解かせたり、相互評価を行ったりといった、多様な形態での学習環境が必要とされている。

参考文献 5), 6) では、この問題を解決する一つの手法として、e ラーニングで学習環境を管理・運営する手法を提案している。本手法は、学習者の活動の状態を有限オートマトンの状態として表現し、学習者の行動や学習状況によって状態を遷移させるモデルをベースとしている。各状態では、学習者が用いることができる学習支援ツール群 (Q&A, コンテンツベースの e ラーニング, 議論, 相互評価, など) を付随させ、学習状況に応じて適応的に最適な支援を実現した。

以下、**図 3-6** をもとにして学習プロセスモデルの表現方法について説明する。図中のノードはすべて有向辺で連結している。具体的には、図中の ○ は学習状態、◇ は、ファシリテーション、→ は学習者のアクション、⋯▶ はファシリテータのアクションを表している。ただし、付随ラベルがない場合 (⋯▶ のみの表記) は、LMS によるアクションを示す。

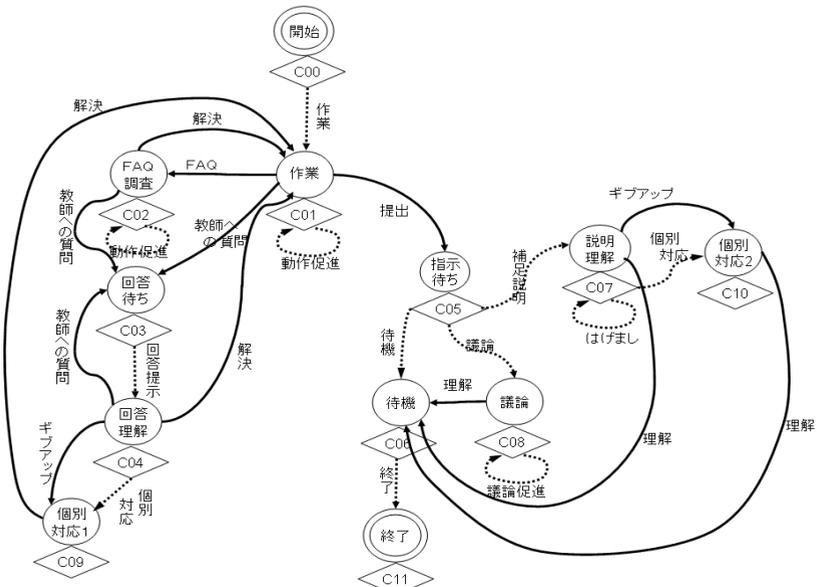


図 3-6 学習プロセスの状態遷移

図 3・6 のモデルを、学習状態遷移図（以下、LSTD : Learning State Transition Diagram）として形式的に定義した結果を、図 3・7 に示す。図 3・7 で、各ファシリテーション内で導入した関数 $f()$ は、開発する LMS に導入すべき関数（モジュール）に対応し、ファシリテーションは、LMS による「遷移」のアクションをとまなうことで実現される。

形式的に記述された内容は計算機で解釈可能であり、支援システムはこれを解釈して実行できる。そのため、この形式的記述の内容を変更することにより、学習プロセスの状態遷移の変更が柔軟に行え、指導者が設計した授業が e ラーニングシステムに即反映される。

作業に関する LSTD は、 $LSTD[作業] = (SL, SC, AL, T, Lstart, Lend)$ である。ここで、 $SL = \{開始, 作業, FAQ 調査, 回答待ち, 回答理解, 個別対応 1, 指示待ち, 待機, 議論, 説明理解, 個別対応 2, 終了\}$, $SC = \{C01, C02, C03, C04, C05, C06, C07, C08, C09, C10, C11\}$, $AL = \{FAQ, 解決, 教師への質問, ギブアップ, 提出, 理解\}$, $AC = \{作業, 回答提示, 個別対応, 動作促進, 補足説明, 議論, 待機, 議論催促, はげまし, 終了\}$, $Lstart = 開始$, $Lend = 終了$ であり、状態遷移関数は以下のように記述できる。

$T(開始, \varepsilon) = (C00, 作業)$	$T(作業, FAQ) = (, FAQ 調査)$
$T(作業, 教師への質問) = (, 回答待ち)$	$T(作業, 提出) = (, 指示待ち)$
$T(作業, \varepsilon) = (C01, 作業)$	$T(FAQ 調査, 教師への質問) = (, 回答待ち)$
$T(FAQ 調査, 解決) = (, 作業)$	$T(FAQ 調査, \varepsilon) = (C02, FAQ 調査)$
$T(回答待ち, \varepsilon) = (C03, 回答理解)$	$T(回答理解, 教師への質問) = (, 回答待ち)$
$T(回答理解, 解決) = (, 作業)$	$T(回答理解, ギブアップ) = (, 個別対応 1)$
$T(回答理解, \varepsilon) = (C04, 個別対応 1)$	$T(指示待ち, \varepsilon) = (C05, \{待機, 議論, 説明理解\})$
$T(待機, \varepsilon) = (C06, 終了)$	$T(説明理解, ギブアップ) = (, 個別対応 2)$
$T(説明理解, 理解) = (, 待機)$	$T(説明理解, \varepsilon) = (C07, \{説明理解, 個別対応 2\})$
$T(議論, 理解) = (, 待機)$	$T(議論, \varepsilon) = (C08, 議論)$
$T(個別対応 1, 解決) = (, 作業)$	$T(個別対応 2, 理解) = (, 待機)$

ファシリテーションは以下のとおり記述できる。

C01: $IF (f(停滞) > 600)$ 動作催促, 遷移[作業]
 C02: $IF (f(停滞) > 600)$ 動作催促, 遷移[FAQ 調査]
 C03: $IF (f(回答準備) == true)$ 回答提示, 遷移[回答理解]
 C04: $IF (f(停滞) > 600)$ 個別対応, 遷移[個別対応 1]
 C05: $IF (f(提出物) > 0.80)$ 待機, 遷移[待機]
 ELSE $IF (f(提出物) > 0.60)$ 議論, 遷移[議論] ELSE 補足説明, 遷移[説明理解]
 C06: $IF (f(提出状況) > 1.00)$ 終了, 遷移[終了]
 C07: $IF (f(停滞) == 300)$ はげまし, 遷移[説明理解]
 ELSE $IF (f(停滞) > 600)$ 個別対応, 遷移[個別理解 2]
 C08: $IF (f(議論状態) == notActive)$ 議論催促, 遷移[議論]

図 3・7 学習プロセスの状態遷移の形式的記述

3-6-5 形式手法のメリット

モデルの記述法として形式的手法を用いた場合、以下のメリットが期待できる。

- ・ 図表や言葉で生じる曖昧さを取り除くことができ、厳密に記述できる。
- ・ 形式記述はコンピュータ可読なデータとして扱えるため、支援システムなどの動作変更はプログラムの変更なしに、形式記述の変更のみで実現できる。
- ・ 必要項目を明示的に列挙することにより、設計から実装にわたり一貫性を保持できる⁷⁾。

このように、モデル記述に形式的手法を取り入れることにより、様々な可能性が開け、システム開発が飛躍的に向上する可能性が見出せる。

■参考文献

- 1) 高原康彦, 齋藤敏雄, 旭 貴朗, 柴 直樹, “形式手法モデル理論アプローチ,” 日科技連, 2007.
- 2) 仲林 清, “教育支援システムの技術標準化動向,” 人工知能学会誌, vol.17, no.4, pp.465-470, 2002.
- 3) “IMS Global Learning Consortium” <<http://www.imsglobal.org/>>
- 4) 森本康彦, 植野真臣, 横山節雄, 宮寺庸造, “指導計画書作成のための記述言語と支援システムの開発,” 信学論, vol.J88-D-I, no.1, pp.76-88, 2005.
- 5) 高橋正行, 森本康彦, 植野真臣, 横山節雄, 宮寺庸造, “e-Learning における学習者の行動に基づく授業プロセスモデル記述法の提案,” 信学技法, ET2005-4, pp.19-24, 2005.
- 6) Y. Morimoto, M. Ueno, I. Kikukawa, S. Yokoyama, Y. Miyadera, “SALMS: SCORM-compliant Adaptive LMS,” Proc. the 12th World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, & Higher Education (E-Learn2007), pp.7287-7296, 2007.
- 7) 宮寺庸造, 田地 晶, 及部佳代子, 横山節雄, 近谷英昭, 夜久竹夫, “学術論文関係情報のグラフ描画問題に基づく視覚化手法,” 信学論, vol.J87-D-I, no.3, pp.398-415, 2004.