

項目反応理論を利用した e-Learning の試み

村瀬 孝宏^{*1} 磯本 征雄^{*2}

＜概要＞ 学習者にとって最適な問題を選んで指導するため、PID 制御理論を応用して、学習者の理解度の P(比例)成分、I(積分)成分、D(微分)成分を評価し、このパラメタを利用して問題を抽出する学習ルールを採用した教授モデルを Web サーバとしてシステム構築した。問題の特性については、項目反応理論を利用して、各問題の識別力、難易度を求めるこことにより、問題特性を分析し、また各学習者の能力推定も行った。これらの求めた問題特性の組み合わせにより 1 セットのテストの特性関数が求められ、この関数をシミュレーションソフト Matlab に組み込んで、各学習者の時系列による学習特性との関係により、学習者の学習達成度と PID 制御による操作で決定される問題の難易度の関係を求めることができる。このシミュレーションにより、教材の配列構成について、学習階層理論に基づき、教材を最適に配列する手法を構築した。

＜キーワード＞ 項目反応理論、学習階層理論、Matlab、フィードバック機能、個別学習機能、

1. はじめに

教育の分野において情報技術の活用により質的、量的な改善を図る取り組みである e-Learning がさまざまな教育機関で広く試行あるいは実際に稼動されているが、インターネットを利用した学習形態では、教師不在となり、以下のような問題点もある。

①学習者は教材選択が広範に自由になる一方、学習者自信が学習過程を把握できない、次に何を学習すべきか分からぬという状況に陥る傾向がある。学習者の理解度に合った課題提供により、効率よく目標達成レベルまで引き上げる学習制御が必要である。

②学習過程で行き詰まり状態となり、援助を求めることがないため学習者が孤立する危険性がある。このことより、柔軟な学習支援の得られるマルチメディアを活かしたヒューマンインターフェースにより誤りを指摘し、行き詰まりから脱出させることが必要である。

③本来、学習環境は、学習者個々の学習特性にあった個別適応機能を十分併せ持つことが理想である。最新の情報技術を利用し、ネットワーク型で個別適応機能を備える必要がある。

本研究では、このような問題に対処するため、自動制御理論などのシステム工学を応用し、学習者個々の理解状況に応じた問題や説明を表示する質の高い教授方略の数理モデル

化とそのコンピュータの実装技術の開発を行った。問題の特性である識別力、難易度は項目反応理論によりテスト特性関数として求め、その分類と組み合わせにより、学習者の能力値に応じた正解確率を求めることができる。さらに、学習者の学習行動を研究した「学習に関する理論」を利用し、これを教授システムのモデル化に適用させ、マルチメディア技術を駆使して、学習支援として役立たせた。事例として、算術計算および情報処理技術者資格試験を開発、試行した。

2. 学習階層理論による課題の系列化

学習課題の階層構造の手法では、ガーニエの学習階層理論を基本とした。この理論によれば、ある課題を教える際には、学習者はその課題を習得するために必要な最小限の前提知識や基礎能力を持っていなければならない、と提案している。特に、計算課題の学習を考えた場合、ある段階の課題に習熟した後でなければ、次の段階の課題を習熟することができないことが多い、指導順序が重要である。この指導順序へのアプローチとしては、課題そのものを構造的に分析するだけでは不十分で、実証的に学習者側の理解のしかたを捉え、課題の難易度を調査して検討する必要がある。水道方式の理論によれば、計算過程を分類し、類別して、飛躍のないように配列することが

*1 MURASE, Takahiro : 中京短期大学 e-mail=murase@j-chukyo.ac.jp

*2 ISOMOTO, Yukuo : 岐阜聖徳学園大学 e-mail=yisomoto@gifu.shotoku.ac.jp

必要であると、論述されており、この方式による体系化する原理が述べられており、本研究においてもこの水道方式の考え方に基づいた。

また、問題の難易度や学習者の学習特性を分析するために、項目得点表を使用した。内部の構造や特徴（学習目標に対する達成・未達成のパターンの違い、各問題へのパターンの違いなど）を明確に捉えることができる。また、計算の過程を学習課題の前提関係を表す隣接行列 D から、その可到達行列 M をもとめることができ、この可到達行列により学習課題の下位性、基礎性、関連性を評価し、課題の系列化、構造化を行うことに利用した。

3. 項目反応理論による特性関数のモデル化

項目反応理論では、各項目に正答する確率を、測定しようとしている特性値の関数として表すことによって、それらの項目の特徴を表現し、その関数は項目特性関数または項目関数と呼ばれている。すなわち、項目特性関数は、特性値（能力） θ に対する項目 j の正答確率 $P_j(\theta)$ を決める確率密度関数であり、項目特性関数が決まれば特性値 θ に対する正答・非正答の確率が決まり、それによってテスト全体の特性が決まってくる。

この項目反応理論の特徴は、①識別力パラメタにより差がつく、区別している問題かがわかる、②困難度パラメタにより易しい問題か難しい問題かがわかる、③疑似チャンス水準により偶然の正解が発生しやすいかわかる、④各被験者の能力も同時に推定することができるなどが挙げられる。

本研究では、項目反応理論による統計的な手法を用いて、難易度を示す尺度を作成し、指導順序に反映させることに利用した。なお、多肢選択形式の問題に対しては、当て推量で回答すれば正解する可能性があるため、疑似チャンス水準を組み入れた 3-パラメタ・ロジック・モデル、非選択式の問題に対しては 2-パラメタ・ロジック・モデルを導入した。利用した項目特性関数 $P_j(\theta)$ 、項目情報関数 $I_j(\theta)$ は、以下の通りである。

$$P_j(\theta) = c_j + \frac{1 - c_j}{1 + \exp(-1.7 a_j (\theta - b_j))}$$

$$I_j(\theta) = P_j^2(\theta) / P_j Q_j$$

$$= 1.7^2 a_j^2 (P_j - c_j)^2 Q_j / (1 - c_j)^2 P_j$$

各パラメタの推定には、BILOG-MG Ver.3 を使用し、項目特性関数を求めた。この項目特性関数より項目情報関数が求まり、どの能力の学生をどの位の鋭さで正解不正解を識別できるかを、表すことができる。同様に、このような特性の問題を集めた問題群の特性であるテスト特性曲線およびテスト情報関数を求めることができる。

図 1 は、算数の文章問題の解答状況を BILOG-MG Ver.3 により、推定した結果とその分布図である。同じ対象者に国語の漢字に関する問題を出題した場合は、識別度が小さく項目情報関数もピークの小さい緩いグラフとなつた。

また、項目応答理論モデルの拡張である段階応答モデルでは、多肢選択問題の誤答パターンへの適応を試み、能力のレベルにより誤るパターンの推移を類推し、それにあわせたコンピュータによる助言を考え、学習者が行き詰まり状態から脱出する方略を持たせた。

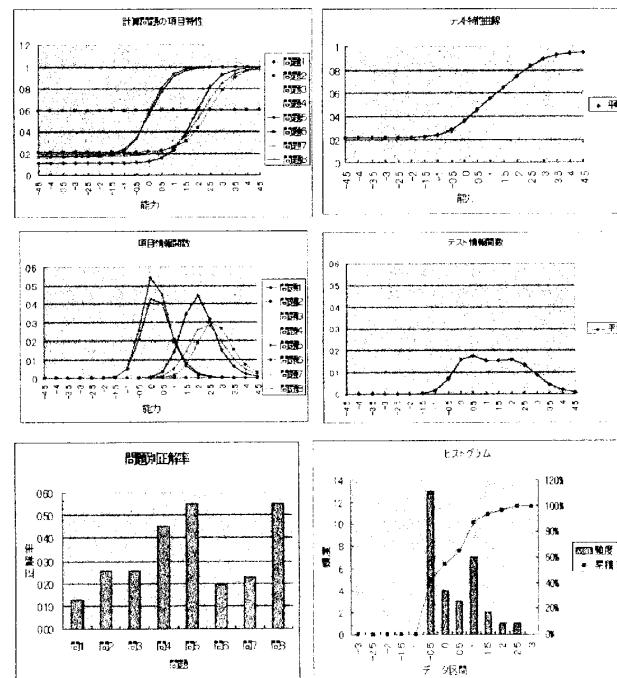


図 1 項目反応理論による特性図

4. MATLAB によるモデル

本システムは 3 つの観点から学習者の学習状況を評価する。まずは、現在の状況を評価するために、比例(P)成分を評価する。この比例成分は、学習者の現在の理解度と目標である理解度の差異について計算される。次に、

学習者の蓄積された理解度である過去の履歴を評価するために、積分(I)成分、すなわち、過去の理解度の全体の積分について計算する。さらに、学習者の理解度の今後の可能性を評価するためには、本システムは微分(D)成分についても計算する。フィードバックの過程を通して、パラメタ“P”, “I”および“D”は次のステップにおける学習過程の制御の方略を決定する。PID制御は、繰り返されるフィードバック過程を通して、現在の学習者の理解度を、目標の理解度へ到達させる。

フィードバックシステムの特性は、一般に応答速度と応答精度が相反し、応答速度を重視すると、系の応答が振動的で応答精度が低下し、不安定度が増加する。すなわち、問題の難易度が学習者の能力より易しい問題が継続すれば目標に達成するまでの時間は大きくなり、逆に、難易度が難しすぎれば学習者は急に成績が下がり、難易度が振動的になり不安定になるであろう。

このようなシステムの特性を分析するため、学習者の伝達関数であるモデルを、微分方程式で表される動的システムとして捉えたシミュレーションモデルを作成した。制御方式は、目標値があらかじめ定められた変化をする場合の制御であるプログラム制御を採用した。システムの評価、最適値は目標レベルに到達するまでの時間の最小化である。PID制御モデルは、連続モデルおよび離散モデルで次式のように表される。 e は目標値と測定値の偏差であり、その比例、積分、微分成分の各々に評価定数をかけ、操作量を求める。

$$m = K_p \cdot e + K_i \cdot \int e dt + K_d \cdot \frac{de}{dt}$$

$$m = K_p \cdot e_n + K_i \sum e_n + Kd(e_n - e_{n-1})$$

次に、学習者の特性モデルを考える。問題の難易度については、前述した項目反応理論によりテスト情報関数を求め、MATLABに組み込む。また、学習者の学習モデルの部分は、前述した項目反応理論と項目得点表の学習特性を参考に、様々な学習者の習熟度(能力)を、横軸を時間(回数)として、縦軸が学習の習熟度として表した微分方程式を使って表すモデルを使用した。

図2は、その考え方を表した学習者の学習モデルであり、図3は、上述したモデルを、シミュレーションソフト Matlab/Simulink

により設計した図である。上の図が学習者モデルで、下の図がその学習者を制御するPID制御モデルである。学習者モデルは、出題されたレベルの問題に対し学習者のその時点での習熟度(能力)により、得点を出力するモデルである。この学習者モデルの部分が、PID制御モデルの制御対象部であり、PID制御モデルにて得点を基にPID演算して次に出題する問題の難易度を求める。制御部から決定された問題の難易度およびPID各成分の波形が観測でき、学習者の習熟度(能力)とその問題ランクでの点数が出力される。

動的モデル(Dynamic Model)

$y = f_u(p, l)$	y : 学習者の習熟度
$p = f_1(y, l)$	p : point(学習者の点数)
$l = f_2(y, tp)$	l : level(問題の難易度)
$tp = g(l)$	tp : 目標点(問題レベルごとの合格点)
$F(p, tp) = \frac{dy}{dt}$	F : 学習者の伸びのファンクション dy/dt : 学習者の伸びの変化分

学習者の学習モデル

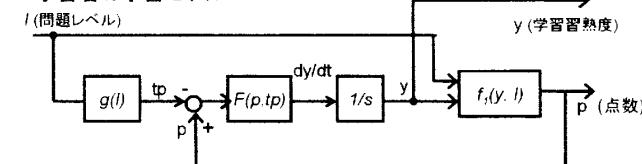
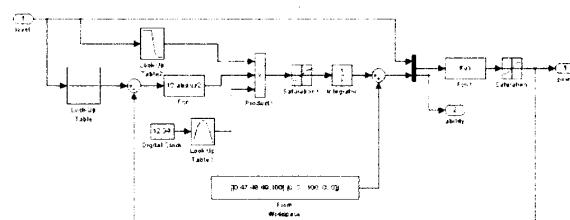


図2 学習者の学習モデル

学習者モデル



PID制御モデル

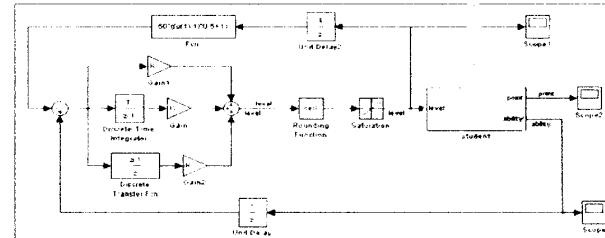


図3 Simulinkによるモデル

5. シミュレーションによるPIDパラメタ特性

次に、シミュレーション結果について議論する。図4は、MATLAB/Simulinkのミュレーションを実行した際の各部の状態を表示したものである。PID演算部で各成分の波形

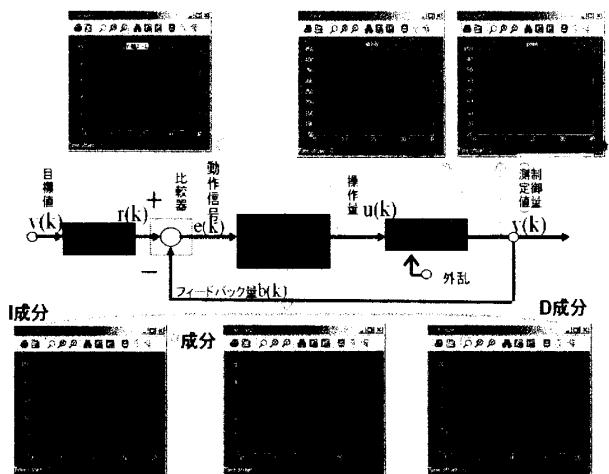


図 4 シミュレーションによる各部の波形

が、時系列的に観測され、これらの成分を元に問題レベルを出力し学習者に出力する。学習者は各学習特性に合わせて測定値である得点を出力していることがわかる。

図 5 は、演習を N 回繰り返した後における学習者の学習達成度をグラフにしたものであり、学習達成度は、N 回後における問題の出題レベルで評価した。図 5 左は、Kp パラメタのみを動作させたものであり、それぞれ演習の 10, 15, 30 回目における問題の出題レベルを表す。Kp は大きい方がより早く高いレベルに達することができるが、10 を超えると振動する。これは、学習者の習熟度に適さない難しすぎる問題が提供され続けた結果である。右図は、同様に Ki パラメタのみを動作させたものであり、やはり 1 を超えると振動する。

同様に、図 6 は、Kp と Ki パラメタを動作させた演習の 15 回後(左図)および 30 回後(右図)における学習達成度のグラフである。Kp と Ki の 2 つのパラメタを動作させることにより、各パラメタを広い範囲で使用することができ、より高い学習達成度に達することができる。また、振動しない Ki の範囲も拡大され、安定度が高くなることがわかる。

図 7 左は、Kd パラメタの特性を表した図であり、同様に、15 回目における問題の出題レベルを表す。学習者の得点が大きく変動しない場合は、Kd パラメタにより若干よくなる程度であり、Kd が 2 より大きくなると振動する。図 7 右は、学習者の得点が体調不良により異常に降下したときの、Ki および Kd

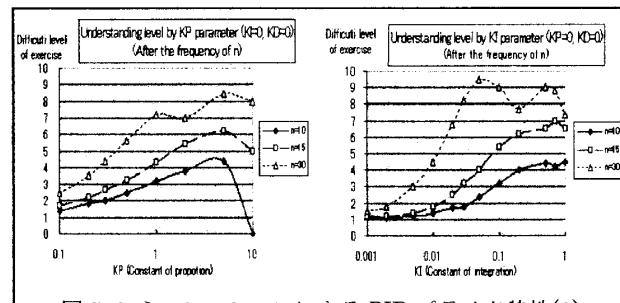


図 5 シミュレーションによる PID パラメタ特性(1)

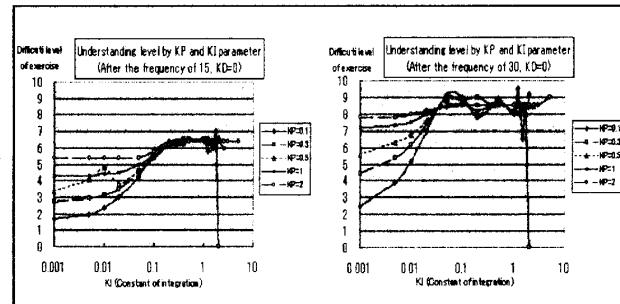


図 6: シミュレーションによる PID パラメタ特性(2)

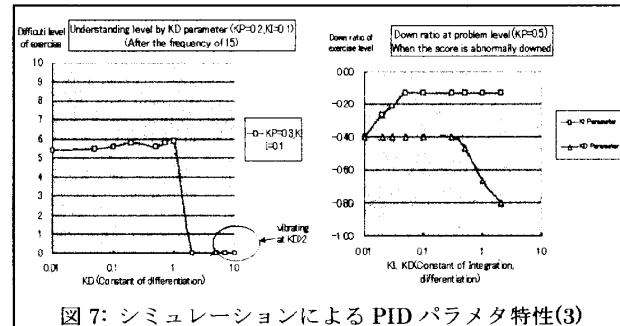


図 7: シミュレーションによる PID パラメタ特性(3)

パラメタによる出題レベルの変動率である。Ki パラメタを大きくすると、出題問題レベルは現在の問題レベルと比較してあまり下がらないが、Kd パラメタを大きくすると、レベルの低い問題が出力されることがわかる。

6. おわりに

項目反応理論および PID 制御を適用した e-Learning の設計と実装を終えた。これらの機能により、最適問題の提供や個別の診断・助言により、自主的な学習を支援することができ、効率的に目標達成レベルまで達成できると考えられる。また、マルチメディアによるヒントや解説で、学習者の挫折防止と興味維持を図った。システム評価の事例として、四則演算、情報処理資格試験の Web サーバのシステム開発を行ったが、同様の手法により他の分野についてもシステム化が可能である。PID パラメタを分析評価できる環境を構築し、各パラメタの特性について分析したが、今後その適合性について検証する必要がある。