

演習に基づく適応的学習システムにおける診断と誘導について

金西 計英¹⁾, 石田 基広¹⁾, 戸川 聡²⁾

1) 徳島大学 デザイン型 AI 教育研究センター

2) 四国大学 経営情報学部

marukin@cue.tokushima-u.ac.jp

Diagnosis and Guidance in Exercise Based Adaptive Learning Systems

Kazuhide Knaenishi¹⁾, Motohiro Ishida¹⁾, Satoshi Togawa²⁾

1) Center for Design-Oriented AI Education and Research, Tokushima Univ.

2) Faculty of Management and Information Science, Shikoku Univ.

概要

高等教育の初年次教育には、基礎的な知識の伝達を目指すものが存在する。知識伝達の学習形態としては、自学自習によるコンテンツの視聴、演習の繰り返し（反復練習）を想定することができる。我々は、自学自習形態による知識伝達は、eラーニングにより実施可能と考える。そこで、個々の学習者の理解状態に対応した誘導機能を実現する適応的学習システムを提案する。本稿では、我々の提案する適応学習システムの概要について述べる。今後、適応学習システムの実現において、演習問題と学習履歴の蓄積が課題となることについても述べる。

1 はじめに

2019年に始まったCOVID-19感染により我々の日常は変化した。高等教育も大きな影響を受けた。例えば、オンラン授業に見られるように、国内の大学でICTの利用が一挙に進んだ。さらには、ICT活用によって、従来の教育を新しい教育へ転換しようとする教育DXという流れも生まれた。

教室に学生が集合し一斉講義を受けるといったイメージは、教育DXによって塗り替えられようとしている。学生は一人一人異なっており、個々の学生の理解状態に沿った形で教育は進められるべきである。つまり、高度個別化された学習の実現である。高度個別化された学習を実現するため、eラーニングの活用が考えられる。本研究は、eラーニングによる学習の高度個別化を目指すものである。本研究では、学習の対象を大学の初年次教育における基礎科目に置いている⁽¹⁾。

国内の多くの大学では、初年次の学生に対し、専門教育への橋渡しとして（高校までの学習の復習の側面も持ち合わせて）、基礎的な知識の伝達を目的とした科目が設定されている。知識伝達を目指す高度個別化された学習は、AI技術を用いることで実現できると考えた。我々はCBT(Computer

Based Test)をベースとした学習システムに、AI技術を用いた、高度個別化された学習環境の提案をおこなう。

知識伝達の一般的な方法は、何らかの形で文字や図表として表現された対象となる知識（コンテンツ化された知識）を、読む、書く、解く等の操作を繰り返しおこなうというものである。単に視覚的な刺激として読むという操作を繰り返すよりも、書く、あるいは演習化された問題を解くといった作業を繰り返す方が効果的であるとされる。読む、書く、解くといった操作の繰り返し、反復練習である。知識の獲得は不安定であり、反復練習によって、確実な知識の定着を図る。その上で、知識獲得の確認がおこなわれ、目標に到達すれば学習は終わる。一般的に、知識獲得の到達判断は、試験の形でおこなわれる。試験結果において設定された閾値を超えることで、学習目標に到達したものと判断される。

このような反復練習をeラーニングとして実施するには、コンテンツ化された知識と、学習者の状態を判定し、学習状況を誘導する機能が必要である。コンテンツ化された知識については、CBTを利用することが可能である。CBTは一般的に、試験として用いられるが、大量の問題が蓄積されていることから、問題を演習として利用すること

も可能である。問題を繰り返し解くことは、知識の定着に有効だと考えられるからである。もちろん、CBTは本来の目的である確認のための試験として用いることは可能である。

CBTをベースに知識伝達をおこなうeラーニング、単純な反復練習、演習を繰り返しおこなうシステムとして開発することは、容易と言える。一方で、高度個別化を実現する必要がある。単純な反復練習学習システムに、学習者の状況を判断し、学習の進行を制御する機能を加える必要がある。

本稿では、適応的な学習システムの構成について提案する。とくに、我々が対象とする知識伝達における学習過程において、学習過程の診断と制御を、機械学習を用いることで可能とする方法について提案をおこなう。

2 適応学習の枠組み

2.1 知識伝達学習

我々が想定している知識伝達は、自学自習でおこなうものである。デジタル化されたコンテンツを学習者が視聴することで、知識が伝達(獲得)される。しかし、コンテンツの視聴だけでは、知識獲得が不十分なことがある。そのため、知識獲得を確実なものとするため、演習問題を解くといった行為が求められる。この問題を解く作業(演習)は、繰り返しおこなわれる。確実な理解へ至るために、コンテンツの視聴、問題演習は、繰り返しおこなわれる。仮定の話ではあるが、反復練習を無限に繰り返すことで、対象領域の知識(スキル)を全て獲得することが可能となる。つまり、完全習得学習が達成される。

しかし、反復練習を無限におこなうことは、実質的に不可能であり、完全習得の達成は難しい。また、学習者の意欲の維持という面からも現実的ではない。そのため、完全習得へと近似する効率化が必要になる。我々は、適応的な学習(高度個別

化)によって、反復学習の効率化が可能になると考える。

2.2 知識伝達における適応的学習

知識伝達における適応的ということは、自学自習の枠組みに対し、学習過程を効率的に制御する仕組みを加えることである。

知識伝達の自学自習の学習過程は、コンテンツを視聴する行為、演習問題を解く行為、判定試験を受ける行為等のさまざまな行為の繰り返しから構成される。学習過程は、学習の基本的な要素(単位)の集まりと考えることができる。基本的な学習の要素は、上述の通り、コンテンツを読む、書く、演習問題を解く、試験を受ける等の行為のことである。自学自習は、この学習単位の繰り返しである。どのような学習単位を実行するかは学習者自身が決定する。

学習者は、学習の流れを、必ずしも効率的におこなっているとは限らない。既に理解した知識を、何回も繰り返し視聴することがあるかもしれない。理解が不十分な状態で、難しい演習問題に取り組むといったことがおこなわれる。

適応的に学習を進めるためには、学習者の理解状態に沿って、学習単位を適切に選択させることが求められる。学習者が分かっているところと、分かっていないところを判定し、分かっていないところのコンテンツや演習を提示し、実行することとなる。つまり、診断と誘導が必要である。

3 適応的学習の枠組み

3.1 基本的な構成

適応的な学習環境は、学習者の自学自習(反復演習)に対する支援機能の実現である。学習者が、網羅的に学習単位を繰り返すことがないように、適切に誘導する枠組みを提供しなければならない。そのため、適応的な学習環境は、学習者の理解状態を正確に判断する機能と、学習者の状態に基づいた誘導機能の2つの機能から構成される。

3.2 診断

学習者の理解状態の診断は、学習単位の演習を解く行為に注目しおこなう。

現在、様々なCBT(Computer Based Test)が利用されるようになってきている。CBTを活用した、学習者の能力を推定する幾つかの方法が開発されてい

問題 15

次の文章のうち、ノイマン型コンピュータの説明として正しいものすべてを選べ。

- ①ノイマン型コンピュータの処理速度を上げるため命令を平行実行することができる。
- ②ノイマン型コンピュータは、命令を実行するためには必ず主記憶装置にアクセスしなければならない。
- ③現在動いているコンピュータは、全てノイマン型コンピュータである。
- ④CPUの処理速度が速く、主記憶装置の記憶容量が不足するため、CPU本来の処理速度で実行できないことを「ノイマン・ボトルネック」という。

解答

2

図1 演習問題の例

る⁽²⁾。我々は、学習者の理解状態の推定に、項目反応理論 (Item Response Theory (IRT)) と Q-Matrix を組み合わせて利用することを考えている。

まず、IRT による、基本的な能力値の推定をおこなう。IRT は CBT の個々の問題に対し難易度を求めることができる。この難易度に基づいて学習者の理解度を推定することができる⁽³⁾。

しかし、難易度による推定だけでは、十分とは言えない。なぜなら、IRT による難易度は、知識全体に対し能力を推定することはできるものの、どこが分かっているかを示してくれるわけではない。適切な誘導をおこなうためには、どこが分かっているかも知る必要がある。そこで、難易度を補完する何らかの方法が必要となる。

そのため、我々は Tatsuoka らの開発した Q-Matrix を用いる。Tatsuoka らは初等教育の数学教育の分野で、学習者の理解を、演習問題と数学的なスキル間の関係として、二次元行列の形で記述する Q-Matrix を提案した⁽⁴⁾。

表1 Q-Matrix の例

	Attributes/skills				
	Skill1	Skill2	Skill3	Skill4	Skill5
Item1	0	0	0	1	0
Item2	1	0	1	0	0
Item3	0	1	1	1	0
Item4	0	0	1	0	1

表1に示した通り Q-Matrix は、問題 (Item) と問題を解くための潜在能力 (Skill) の項目からなる二次元行列である。例えば、表1では問題1を解くためには能力4が必要であることを表している。また、問題1と問題4は、どちらの問題も解くためには能力4が必要であることが分かる。Q-Matrix によって、問題がそれぞれどのように関連しているかが分かる。Q-Matrix は、問題をグループに分けていると考えることができる。つまり、これは問題を解法知識にそって分類している分けである。

Tatsuoka らは、教師が実際の演習結果を集め、分析することで、Q-Matrix を作成した。Q-Matrix の作成は、教師の職人技に依存することを意味する。手動による Q-Matrix の作成は、効率が悪い。そのため、我々は、機械的に Q-Matrix を作成する方法を提案する。CBT を運用することで、学習者の解答履歴を得ることができる。解答履歴は、以下に示したような二次元行列の形を採る。問題と解答者の項目が配置され、問題の正答、誤答の結果が

表示される。この表で解答者1は、問題1は誤答、問題2は正答といったことが表現されている。

表2 解答履歴の例

	User1	User2	User3	User4	User5
Item1	0	1	0	0	0
Item2	1	1	0	0	0
Item3	0	1	0	1	1
Item4	1	1	0	1	0

解答履歴と、Q-Matrix はともに2次元行列である。解答履歴を機械的に収集することができる。その上で、最近の EDM (Educational Data Mining) 研究から NMF (Non Negative Matrix Factorization) を用い、解答履歴から Q-Matrix を得る方法が提案されている⁽⁵⁾。これは、2次元行列を分解する形で、近似された Q-Matrix を得ることができるとするものである。

学習者の IRT の結果と Q-Matrix の情報を用いることで、学習者が対象領域のどこが分かっているか、どこが分かっているかを、機械的に調べることが可能になる。

3.3 誘導

次に、適応的学習における、誘導の実現方法について述べる。

上述の通り、自学自習形態の知識伝達学習は、反復練習であり、学習要素の繰り返し学習となる。学習要素を状態と捉え、自学自習の開始から修了まで、状態が時系列につらなつた一種の状態遷移として捉えることができる。

この状態遷移は、基本的に、学習者が自主的に状態を選択する自学自習である。遷移における選択は学習者に委ねられている。そこで、学習過程における状態遷移において、次の適切な状態を学習者に提示できれば良い。

自学自習を状態遷移と捉えたとき、学習過程は、状態選択の繰り返しとなる。率的な学習とは、よりよい結果を生じると想定される過程を選択することである。誘導は、この適切な選択をおこなえばよい。機械学習の分野で、状態遷移における、意思決定を支援する手法が研究されている。例えば、ゲーム、将棋における最適な次の手の発見がおこなわれている。我々は、次の状態の選択について、強化学習 (Reinforcement Learning) を用いる。強化学習は教師あり、なしのどちらも可能な、機械学習の一種であり、深層学習と組み合わせで用いられることが多い。また、強化学習は、囲碁への利用

で注目を集め、ゲーム、自動運転の分野の利用が進んでいる。学習過程の誘導は、将棋における最適な手の選択と似た問題と捉えることができることから、強化学習が有効な方法だと考える⁶⁾。

学習の過程を状態遷移と捉え、学習履歴を教師用の学習に用いることで、強化学習によって、学習要素の選択において、次の状態の選択肢としての学習要素を判定するための状態価値の評価関数を得ることができる。また、自学自習における報酬は、能力値（対象領域の知識の獲得）を高めることだと考えられる。

上述の IRT と Q-Matrix で得られた情報と、強化学習を組み合わせることで、選択の対象となるコンテンツや問題を絞ることが可能になると考える。

4 適応学習システムの構成

適応的な学習システムは、自学自習をおこなう e ラーニングシステムである。学習者からは、一般的な LMS (Learning Management System) 上にコンテンツが表示されたものと見える。コンテンツは、1 章、2 章のように提示される。また、章の表示は、1-1 節、1-2 節のように細分化される。さらに、コンテンツは、視聴用の動画コンテンツ（および PDF 等）と、幾つかの演習問題から成る。学習者は、基本的に、最初から順に学習を進める。コンテンツは、動画コンテンツのプールと、演習問題のプールが用意される。演習問題は、例えば 1-1 に関連する問題が、問題プールから、領域と難易度に基づいて選ばれる（易しい問題ばかり、難しい問題ばかりとならないよう）。

システムは、学習履歴（学習要素の推移の系列）を保存する。同時に、演習を解くことで、解答履歴を保存する。収集した学習系列は強化学習に、解答履歴は問題難易度判定のために用いる。

学習者は、コンテンツ視聴や、演習を解きながら学習を進める。学習者は、基本的に、システムの画面に表示された順序で、コンテンツや演習問題を、前から順に視聴、解いていく。

学習者がコンテンツを視聴する等の行動を終え次の行動に移る際、システムから次の行為について推薦が示される（システムからの誘導である）。学習がスムーズに進行している場合、推薦を意識する必要はない。一方、ある演習問題が不正解となった場合、学習者は、次に、別の演習を解く、同じ問題を再度解く、解説のコンテンツを視聴する

等、いろいろな行動が想定される。次に何をすればよいか判断が難しい。システムからの推薦が助けになると考える。次に学習すべきコンテンツあるいは演習が、推薦という形で示されれば、学習者は安心して学習を進めることができる。

5 まとめ

本稿では、高等教育の基礎科目を対象に、知識伝達を目的とした適応学習システムの概要について述べた。まず、適応的な学習の枠組みについて述べた。診断と誘導によって学習支援が可能になることを述べた。診断については、IRT と Q-Matrix によって実現する方法を示した。つぎに、誘導については強化学習によって実現する方法を示した。さらに、適応的な学習システムの構成についても述べた。今後、システムの構築を進める予定である。構築中の学習環境において、演習問題と解答履歴の蓄積が大きな課題である。サービスの公開を前提に、研究協力者を集めデータの収集を進める予定である。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究(C)（課題番号 19K03003 および 22K12292）の支援を受けた。

参考文献

- [1] 植野 真臣, 永岡 慶三 “e テスティング,” 培風館, 2009.
- [2] 平澤 梓, 光永 悠彦, 小松川 浩 “項目応答理論を用いた適応型 e ラーニングによる学習効果に関する研究,” 教育システム情報学会学生研究発表会 (北海道地区), 17-18, (2014).
- [3] 加藤 健太郎, 山田 剛史, 川端 一光 “R による項目反応理論,” オーム社, 2014.
- [4] Kikumi K. Tatsuoka, “Cognitive Assessment,” Routledge, 2009.
- [5] Desmarais, M. C., “Conditions for effectively deriving a Q-Matrix from data with Non-negative Matrix Factorization,” *Proc. of 4th International Conference of Educational Data Mining*, 41-50, 2011.
- [6] 森村哲郎, “強化学習,” 講談社サイエンティフィック, 2019.