

理解状況に適応した多肢選択式問題の自動生成に関する構想

A Proposal for the Automatic Generation of Multiple-Choice Problems Adapted to Students' Understanding

津森 伸一

海尻 賢二

Shin'ichi Tsumori

Kenji Kaijiri

信州大学大学院総合工学系研究科

Interdisciplinary Graduate School of Science & Technology, Shinshu University

E-mail: tsumori@shotoku.ac.jp

あらまし： 筆者らは、選択肢を適切に選択することにより、学習者の理解状況に応じた多肢選択式問題を自動的に生成する方法を検討している。多肢選択式問題は、問題文と選択肢による定型的な形式で生成されるため、語彙情報を知識ベースとして作成しておくことにより、機械的に多くの問題を生成できる。更に、学習者の語彙に対する理解状況を適切にモデリングすることにより、個々の学力に適応した問題を多数提供できることが期待できる。本稿ではその構想について報告する。

キーワード： 多肢選択式問題, 適応型, 問題自動生成

1. はじめに

近年、資格取得のニーズが高まり、高等教育機関においても学習機関の新設や対策講座の開講等の対策が実施されるようになってきた。実務志向が強まるにつれ、この傾向は益々拡大することが予想される。

資格試験や検定試験の多くは、主観的な採点の可能性が低い客観テストを利用している。特に、複数の選択肢から正答を選択するいわゆる多肢選択式問題(以下”選択問題”)は、大人数の迅速な採点が可能なことから、最もよく使われている問題形式である。

さて、資格試験や検定試験の対策学習の際には、過去試験に出題された問題(以下”過去問題”)を用いた演習がよく行われる。実際の試験は過去問題と同じ或いは類似した問題が出題されることが多いため、過去問題を解くことによりドメイン知識を習得することは有効であると考えられる。

一方、限られた時間内で効果的な対策学習を行うためには、例えば学習者の弱点分野を絞り込み、その分野の問題を理解できるまで繰り返し学習する等の個別の対策が必要である。そのためには、過去問題やその類題を大量に作成しておき、学習者の理解状況に応じて問題を提供することが必要になる。しかし、考えられる問題プールを事前に用意し、理解状況の変化に合わせて動的に適切な問題を提供することは極めて困難である。

学習者の理解状況に応じた選択問題の生成や、出題

のバリエーションの向上(類題の作成)については、これまでに幾つかの研究が試みられている。加藤ら[1]、Huang[2]、菅沼ら[3]は、理解状況に応じた選択問題を提示するための方式を提案している。これらは、問題演習過程において学習者の理解状況を測定しその結果に基づく出題を提供するため、個々の学力の変化に応じた問題が提供されることが期待できる。しかし、事前に出題する選択問題を作成しておく必要があるため、出題のバリエーションを増やすための教師の負担が大きくなる。一方、松田ら[4]、北岡ら[5]は、選択問題を自動生成する方式を提案している。これらは、タグを付した電子教材や用語辞書から選択肢を集めることにより選択問題を生成するため、出題のバリエーションを容易に増やせることが期待できる。しかし、学習者の理解状況を考慮したものではないため、学習者が容易に正解できたり逆に学習者の能力を遥かに超えた問題が出題されることが想定され、学習効果や効率の点から問題が残る。

そこで筆者らは、学習者の理解状況に適応した選択問題を自動生成する方法の検討を行っている。選択問題は、選択肢を変えることにより問題の難易度を制御できるため、その方法を適切に定義することにより理解状況に応じた問題を多数生成できるものと考えられる。このような問題を自動生成することにより、学習者の理解状況に応じた問題演習の提供と、教師の作問負担の増大というトレードオフの解消を図る。

本稿では、本研究の構想について述べる。第2章で本研究の基本構想について述べる。第3章で検討課題について述べ、第4章でまとめとする。

2. 本研究の基本構想

本章では、問題生成の方法に関する基本的な構想について述べる。

2-1. 問題生成用に用いるデータ

本研究では、情報処理技術者試験に登場する情報処理用語を知識ベースに格納し、これを用いて語彙に関する問題演習環境を提供することを目標とする。

シンボル	: ROM
別名	: Read-Only Memory
定義	: 書き込みができず読み出しだけが可能な記憶装置
特徴	: 電源が切られてもデータは消えない
図表	: rom.png
is-a	: 記憶装置
part-of	: マザーボード

図1 語彙情報の形式

図1に本研究が対象とする語彙情報の形式を示す。語彙情報は以下に示すような幾つかの属性を持つ。

- シンボル: 名称を表す文字列
- 別名: 別称を表す文字列
- 定義: 定義を表す文字列
- 特徴: 特徴を表す文字列
- 図表: 図表ファイル名を表す文字列
- is-a, part-of: is-a, part-ofの関係にある別の語彙のシンボルを表す文字列

問題の生成は、語彙情報をテンプレートに当てはめることにより行う。

図2は、特定の語彙の定義からその語彙のシンボルを問う問題を生成するためのテンプレート例である。

『語彙 t_1 の定義』	で定義されるものはどれか。
a.	語彙 t_1 のシンボル
b.	語彙 t_2 のシンボル
c.	語彙 t_3 のシンボル
d.	語彙 t_4 のシンボル

図2 問題生成用テンプレートの例

図1の語彙のシンボル属性の値”ROM”と定義属性の値”書き込みができず読み出しだけが可能な記憶装置”、また別途選択された3つの語彙のシンボル属性の値”RAM”、”DRAM”、”フラッシュメモリ”を各々テンプレートの適所に埋めることにより、図3のような問題を生成することができる。他の形式のテンプレートを定義することにより、他の属性を用いた選択問題を生成することも可能である。

『書き込みができず読み出しだけが可能な記憶装置』で定義されるものはどれか。
a. RAM
b. ROM
c. DRAM
d. フラッシュメモリ

図3 生成される問題例

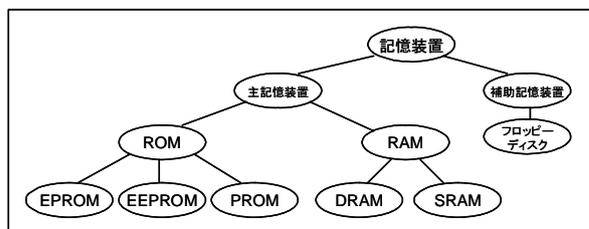


図4 is-a属性を用いた語彙空間

なお、図1の is-a, part-of は語彙間の関係を示すためにも用いられる。is-a 属性は語彙の概念的な”距離”を定義し、問題の難易度や学習者の理解度の計算に用いるもので、これにより図4のような語彙空間を構成する。part-of 属性は、語彙の構成関係を表し、図5に示すような別の語彙空間を構成する。

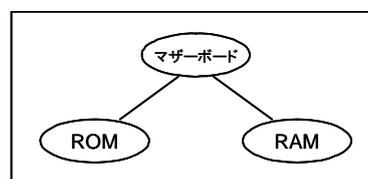


図5 part-of属性を用いた語彙空間

2-2. 生成する問題の種類

本研究では、以下のようなタイプの選択問題の生成を行う。

(1) 語彙の属性間の写像を問う問題

語彙情報の特定の属性の値から別の属性の値を問うような問題であり、具体的には図6に示すようなタイプの問題を出題する。これらは何れも、図1で示され

る語彙情報と、図2で示されるテンプレート(各出題形式に合わせたものが必要)を用いて生成することが可能である。

<p>(シンボルの定義を問う問題) 『ROM』の定義はどれか。</p> <p>a. データの読み書き可能なメモリ b. 書き込みができず読み出しだけが可能な記憶装置 c. コンデンサの電荷のあるなしでデータの記録を行うメモリ d. 電気的な消去ができる読み出し専用メモリ</p>
<p>(定義からシンボルを問う問題) 『書き込みができず読み出しだけが可能な記憶装置』で定義されるものはどれか。</p> <p>a. RAM b. ROM c. DRAM d. フラッシュメモリ</p>
<p>(シンボルの特徴を問う問題) 『ROM』の特徴はどれか。</p> <p>a. 電源を切るとデータが消えてしまう b. 電源が切られてもデータは消えない c. リフレッシュ動作が必要 d. ブロック単位での消去と書き込みが可能</p>
<p>(特徴からシンボルを問う問題) 『電源が切られてもデータは消えない』という特徴を持つものはどれか。</p> <p>a. RAM b. ROM c. DRAM d. フラッシュメモリ</p>
<p>(シンボルを表す図表を問う問題) 『ROM』を表す図表はどれか。</p> <p>a.  b.  c.  d. </p>
<p>(図表が表すシンボルを問う問題) 以下の図表が表すものはどれか。</p> <p></p> <p>a. RAM b. ROM c. DRAM d. フラッシュメモリ</p>

図6 属性間の写像を問う問題の例

なお図6では、何れの問題も”シンボル”が必ず問題中に登場する。これは実際の情報処理技術者試験(初級システムアドミニストレータ試験)に出題された用語関連問題の全てにおいて、表1[6]に示すように、シンボルが問題文或いは選択肢として使われており、本研究でもその形式に合わせることにしたためである。

表1 初級システムアドミニストレータ試験問題の内容(H16年秋季)

出題内容	問題数(割合)
シンボル→定義、定義→シンボルを問う問題	19 (24%)
シンボル→特徴、特徴→シンボルを問う問題	23 (29%)
シンボル間の関連や相違を問う問題	4 (5%)
小計	46 (58%)
その他(計算、プログラム等)	34 (42%)

(2) 語彙間の関係を問う問題

is-a, part-of の属性を用いてシンボルの関係を問う問題である。具体的には図7に示すようなタイプの問題を出題する。

<p>(語彙の階層関係を問う問題) 『補助記憶装置』に属するものはどれか。</p> <p>a. フロッピーディスク b. SRAM c. EPROM d. PROM</p>
<p>(語彙の構成関係を問う問題) 『マザーボード』を構成するものはどれか。</p> <p>a. フロッピーディスク b. ROM c. CD d. DVD-RAM</p>

図7 語彙間の関係を問う問題の例

3. 検討課題

本章では、選択問題における理解状況のモデル化と問題の難易度の設定方法、問題生成と問題演習の方法についての検討事項をまとめる。

3-1. 理解状況のモデル化

本稿では、学習者の目標状態を概念空間内の全ての

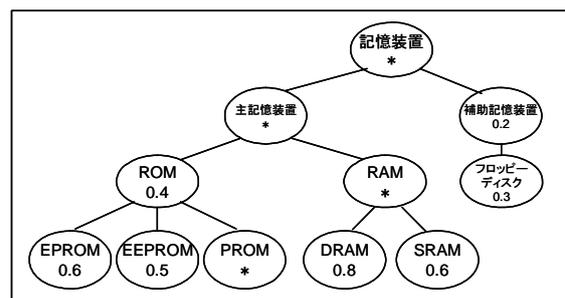


図8 学習者モデルの例

概念を習得することとし、各概念単位にオーバーレイモデルで理解状況を表現する。すなわち、語彙空間内に存在する語彙毎に理解度を設定する学習者モデルを構成する。理解度は 0~1 の数値とし、全ての語彙が理解したとみなせる閾値以上になった状態を学習終了状態とする。なお、本稿では、択一式問題のみを対象とし、複数の選択肢を選択する場合は考慮しない。

図 8 に学習者モデルの例を示す。図中の数値は、各語彙に対する理解度を示し、“*”はその語彙に対する理解度が不明、すなわちまだその語彙の属性値を問う問題に解答していない状況を意味する。

理解状況のモデル化にあつては、以下の 3 つが大きな検討課題である。なお、以下では、 n 個の語彙(t_1, t_2, \dots, t_n)の属性値を選択肢とする問題を出题し、正解が t_c ($1 \leq c \leq n$) の属性値であるものとする。

(1) 理解度を設定する語彙の選択

問題毎にどの語彙に対し理解度を設定するのかを決定する。

- ・問題が正解だった場合

正解の場合は、 t_c のみ理解度を設定する。

- ・問題が不正解だった場合

不正解の場合は、 t_c と不正解だった選択肢の両方に理解度を設定する。

(2) 理解度の計算方法

理解度は、選択問題の偶然性も考慮に入れ、過去の正否状況を加味して計算する。すなわち、語彙 t_i に m 回目に設定された理解度 $u_{i,m}$ を、 $m-1$ 回目に設定された理解度 $u_{i,m-1}$ を用いて定義する。

難易度の高い問題に正解した場合は、学習者の語彙に関する理解度も高いと考えられる。そこで、理解度を難易度を用いて表すことを検討する。具体的には、例えば第 m 回目に出题された問題の難易度を $d_{i,m}$ として、以下の計算を行う。

- ・問題が正解だった場合

$$u_{i,m} = 1/2 * (u_{i,m-1} + d_{i,m})$$

- ・問題が不正解だった場合

$$u_{i,m} = 1/2 * u_{i,m-1}$$

なお、語彙 t_i の理解度の初期値 $u_{i,0}$ (図 8 の “*”) は、実際には 0~1 の適切な値を検討して設定する。全ての用語について 0.5 のような一定値を設定する、他の学習者の各語彙に対する理解度を参照する等の方法が

考えられ、今後の検討課題である。

(3) レディネスの設定

以上の方法によると、全ての語彙の理解度を上げるためには、全ての語彙を正解とするような問題を相当数解く必要があり、効率的な学習を達成することが困難になる。そこで、ある語彙の理解度を、他の語彙のレディネスとして設定することを検討する。

例えば、“ROM”の定義や特徴は、“ROM”の下位概念である“PROM”、“EPROM”等に継承されるため、上位の語彙の理解度を設定する際に、その下位に位置する語彙に対しても同時にレディネスを設定することが考えられる。下位の語彙が理解できていれば上位の語彙も理解できている可能性があるという観点からは、この逆(下位の語彙の理解度を設定する際に、上位語彙にも同時にレディネスを設定)を行うことも考えられる。

レディネスの設定方法、理解度との関係や使用方法については、今後の検討課題である。

3-2. 問題の難易度

本節では、学習者の理解状況に適応した問題を出题するための、難易度の定量化の方法について議論する。

(問題A)

次の中で、『紫外線の照射により内部の電荷を放出することで内容を消去できる』という特徴を持つものはどれか。

- EPROM
- EEPROM
- PROM
- DRAM

(問題B)

次の中で、『紫外線の照射により内部の電荷を放出することで内容を消去できる』という特徴を持つものはどれか。

- EPROM
- DRAM
- フロッピーディスク
- SRAM

図 9 選択肢の異なる選択問題例

図 9 に、問題文は同じで選択肢が異なる 2 種類の選択問題例を示す(何れも問題の正解は“EPROM”)。

両者とも 4 者択一の問題だが、難易度は図中の問題 A の方が問題 B の問題に比して高いと考えられる。この理由として、問題 A の選択肢は問題 B の選択肢に比

して概念の似た選択肢が集まっていることが挙げられる。すなわち問題 A においては、正解の”EPROM”と不正解の”EEPROM”, ”PROM”が共に”ROM”の一種であるため、これらを区別できなければ正解することはできない。一方、問題 B の選択肢は、何れも”記憶装置”というカテゴリに入るものであるが、問題 A の選択肢ほど近い概念ではない。

図 9 の問題に登場する選択肢を語彙空間内に表すと、図 10 の網掛けのようになる。正解の”EPROM”と不正解の選択肢の関係を見ると、問題 A の方が概念の似た選択肢が集まっているため、概念の近いものほど迷い易い選択肢であると考えれば、問題 A の問題の方がより難易度の高い問題になると考えることができる。

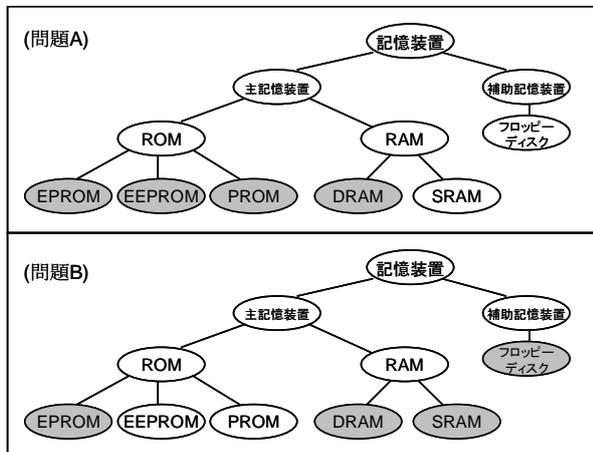


図 10 図 9 の問題の選択肢

そこで本研究では、選択肢に用いられる語彙間の概念的な距離を用いて問題の難易度を定量化する。

図 4 の語彙空間において、任意の 2 つの語彙間のリンクの本数を”概念距離”と呼ぶことにする。例えば、図 9 の問題 A の選択肢については、

- ”EPROM”～”EEPROM”の概念距離 = 2
- ”EPROM”～”PROM”の概念距離 = 2
- ”EPROM”～”DRAM”の概念距離 = 4

である。

また、図 9 の問題 B の選択肢については、

- ”EPROM”～”DRAM”の概念距離 = 4
- ”EPROM”～”SRAM”の概念距離 = 4
- ”EPROM”～”フロッピーディスク”の概念距離 = 5

となる。

本稿では、正解の選択肢である”EPROM”との概念距離が小さい選択肢が多く集まった問題であるほど難

易度が高くなると考える。一方、ある選択肢に関する知識が少ない、すなわち理解度が低くなるほど、概念距離による効果も小さくなると考えられる。

以上のことから、問題の難易度を、

- 正解の選択肢と不正解の選択肢の概念距離
- 不正解の選択肢の理解度
- 選択肢数

の関数として定義する。

具体的な計算式は今後の検討課題であるが、問題に出題する選択肢が図 11 のような関係として表されることを考慮し、難易度は概念距離と理解度の積の減少関数、また選択肢数の増加関数とする。更に、値を 0 ～1 に正規化できるような関数を検討する。

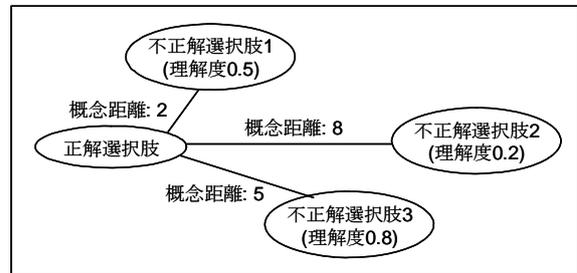


図 11 選択肢間の関係

3-3. 問題の生成方法

問題生成は、図 8 の学習者モデルを参照し、特定の語彙の理解度に基づいて、適切な難易度となるような選択肢を選択することにより実行する。

具体的には、以下の手順で問題生成を実行する。

(1) 正解選択肢の選択

図 8 より正解選択肢として設定する語彙を 1 つ選択する。なお、選択する語彙は、理解されたと判断されない(理解度が閾値に達していない)語彙の中から、理解度の低いものを優先して選択する。

(2) 生成する問題の難易度の決定

生成しようとする問題の難易度の範囲を決定する。学習者にとって易しすぎず難しすぎない難易度の問題とするため、例えば(1)で選択された選択肢の理解度を 0.6 とした場合、 α を適切に決定した上で $0.6 \sim 0.6 + \alpha$ の難易度に決定する。

(3) 不正解選択肢の決定

次に、不正解選択肢となる選択肢を語彙空間から選択する。この場合、難易度が(2)で決定された範

囲に入るように概念距離、理解度、選択肢数を設定し、それを満足する選択肢の組合せを探す。

(4) 問題の出題方法の決定

図1の持つ語彙情報を用いて、出題方法(例えば名称から定義を問う)を選択する。出題方法の選択方法は、ランダム、過去に提示したことの無い方法、過去に正解したことの無い方法等の幾つかがある。どの方法をどの状況で提示するのが適切であるかは今後の検討課題である。

(5) 問題文の生成

学習者に提示する問題文を生成する。

3-4. 問題演習の方法

問題演習は以下の手順で行う。

(1) 学習分野の選択

学習者が学習を希望する学習分野を選択する。例えば、語彙空間を予め幾つかの単元単位に分けて構築しておくことで学習したい単元を選択できるようにする。

(2) 問題の生成と出題

学習者に提示する問題を生成し、出題する。問題の生成方法は前節で説明した通りである。

(3) 学習者モデルの更新

学習者から提出された解答の正否判定を行い、学習者モデル中の理解度を更新する。

(4) 学習終了

全ての語彙の理解度が、語彙を理解したと判断する理解度の閾値(例えば 0.9)以上になった時点で当該分野の学習を終了する。

4. まとめと今後の課題

学習者の理解状況に適応した選択問題を自動生成する構想について述べた。

選択問題は、解答の入力方法が単純で、機械的な採点が容易であり、幅広いドメインに適用可能でもあることから、以前より広く用いられてきた問題形式である。一方、学習者の理解状況に合わせて動的に問題を生成することについては余り検討されてこなかったため、本稿で一つの構想を提案した。

本稿で述べた内容は、まだ構想段階にあり、難易度や理解度の計算方法、問題の出題戦略等、今後検討す

べき項目は多い。本稿で触れた範囲以外にも以下のような検討項目がある。

(1) 語彙情報の作成方法・利用方法の明確化

例えば、“RAM”という語句を使って“DRAM”を定義する等、語彙の説明文に他の語彙を用いると、問題文から正解が容易に判明するといった問題が起こり得るため、語彙情報の作成に注意を払う必要がある。

また、ある概念とその上位の概念を同時に選択肢に入れた場合、上位概念の性質が下位概念に継承されることを考えると、正解が一意に決まらない可能性が出てくるため、これらの選択肢を同時に入れないことについても注意する必要がある。

(2) システム評価の方法と正当性の検証

本稿で述べた理解度、難易度等の概念や計算方法の妥当性をどのように検証するかが問題となる。

今後は、本稿で明らかにできなかった内容を具体化し、プロトタイプシステムを開発していく予定である。

参考文献

[1] 加藤浩、赤堀侃司：“バイズ推定による適応型問題演習システムのための問題選択方式”、電子情報通信学会論文誌 D-II Vol.J82-D-II No.1, pp.148-158 (1999)

[2] Sherman X.Huang：“A Content-Balanced Adaptive Testing Algorithm for Computer-Based Training Systems”, Proceedings of the Third International Conference Intelligent Tutoring Systems, pp. 306-314 (1996)

[3] 菅沼明、峯恒憲、正代隆義：“学生の理解度と問題の難易度を動的に評価する練習問題自動生成システム”、情報処理学会論文誌、Vol.46 No.7, pp.1810-1818 (2005)

[4] 松田憲幸、小川修史、平嶋宗、瀧寛和：“選択問題の自動生成に関する構想”、教育システム情報学会研究報告、Vol.20 No.3, pp.37-38 (2005)

[5] 北岡大輔、松田憲幸、平嶋宗、瀧寛和：“補助教材のための選択問題と誤答解説文の自動生成の構想”、信学技報、ET2003-38 (2003)

[6] 津森伸一、磯本征雄：“穴埋め問題を対象とした採点評価方式の提案”、信学技報、ET2006-20 (2006)