

演習問題を指向したITSの枠組み

ITS for Practice English Sentence Transformation Rules.

木村吉伸 山本米雄
Yoshinobu KIMURA Yoneo YAMAMOTO

徳島大学知能情報工学科
Faculty of Engineering, Tokushima University

あらまし

本研究では英語の知識を対象とした演習問題を行うITSの枠組みを提案する。ITSではシステムの持つ教授知識をどのような場合にどのような順序で教えるか、は非常に重要な問題である。そのため、本研究では教授知識の構造を考察し、知識自体の持つ要素で分類、階層化した。それを基にして学習者モデル、演習問題を選択する機構を設定した。

キーワード ITS 演習問題 定着レベル CAI 知識ベース 学習指導

1. はじめに

ITS^[1]においてシステムに蓄えられた知識をいつ、どのような順序で学習者に与えるかは非常に大きな問題である。この問題を解決するために大槻らはストラテジグラフ^{[2][6]}を提案している

本論文では演習問題を行うITSの枠組みを明らかにする。演習問題を行うためにはどの演習問題をどの順序で教えるべきかは大きな問題である。そのため本論文では英語の持つ知識の継承関係とそれ自体のもつ難しさの要素で分類し、演習問題に適した問題選択を行うことを目的とする。

また演習問題を指向したITSの実現のためには明確にしなければならない問題点を以下に列挙する。

- ①演習問題を行うことの目的を明確にする。
- ②学習者が演習問題を解く時には、その問題解決知識の前後の知識とどのように関連させて演習問題を解いているかを抽出する。
- ③知識を定着させる為にはどのような演習問題をどのような順序で解かせればよいかを明確にする。
- ④そのためには対象知識をどう表現すればよいかを明確にする。
- ⑤その知識のなかから学習者に適切である問題を選択する機構(メタ知識:演習問題知識を学習者の状態に応じて選択、解かせる知識)が必要となるかを明確にする。

⑥演習問題を対象とした場合の学習者モデルの表現を決定する。

以下では上記の必要点に沿って演習問題に対するITSの枠組みを明らかにしていく。

2. 演習問題を指向したITS

ここでは演習問題の目的を“学習者が完全に理解、定着していない問題解決知識を定着させること”と捉える。学習者にとって定着していない知識を演習問題を解かせることによって定着させること、及び定着支援を目的とする。

システムの有効性は以下の三点によって決定される。

- ・対象知識を正しくグループ分けし、それらのグループ間の相関関係を明確に記述しているかどうか。
- ・学習者の状態を正確に把握できるかどうか。(誤り同定など)
- ・対象知識の構造・学習者モデルの状態から学習者にとって有効であると思われる問題を選択できるかどうか。

3. システムの概要

演習問題を指向するITSシステムを実現するための枠組みについて考察する。必要と考えられる構成要素は以下の通りである。

- ①教材知識ベース
- ②学習者モデル
- ③ワーキングメモリ
- ④教授戦略知識
- ⑤入出力インターフェイス
- ⑥問題解決機構（インタプリタ）

①の教材知識ベースでは演習問題が問題解決知識の継承関係によってネットワーク的にセクション単位で整理されている。ここでセクションは、“現在完了”，“仮定法”などの一つの単元を意味すると定義する。また同一セクションに含まれる演習問題も、そのセクションの問題解決知識の持つ難しさの軸で整理されている。このように演習問題を整理することで学習順序を明確にするなどの効果を得る。②の学習者モデルでは教材知識ベースのもつ階層構造にしたがって2つの立場から学習者のモデル化を行う。③のワーキングメモリでは現在の学習者とシステムの対話の状態が表現されている。④の教授戦略知識では学習者モデルとワーキングメモリの状況から学習者に出题すべき問題のセクション、及びその難易度を決定し、教材知識ベースから選択する。⑤の入出力インターフェイスでは学習者からの自然言語的な入力をあらかじめ用意したキーワードとのパターンマッチングにより理解する。⑥の問題解決機構は出題した演習問題の解答や学習者からの質問に対する解答を用意する。

4. 対象知識の構造の抽出について：

演習問題を行うためには対象知識の構造の抽出（知識のグループ分けと順序づけおよび適用条件・目標知識・前提知識の明示）を行うことは、学習者にとって必要であると考えられる。演習問題を行うために知識構造を明確にすることによって得られる効果は以下の通りである。

- ・現在までの状況から、次に解かせる問題を決定できる。
- ・対象知識を細かく分類することで、学習者に段階的な教育を行える。
- （未定着知識を多く使用する演習問題を与えることによる知識の混乱を避ける）

4. 1 対象知識構造の抽出

実際に一分野を対象として、知識の構造を明らかにする。今回は中1～中3の英語を対象領域知識とした。ここでは実際に参考書、問題集を元に“現在完了”，“仮定法”などのセクションに注目して分類を行った。

分類は大きく分けて以下の2つのレベルで行った。

- (1) セクション独自の難しさによる分類。（ローカルな視点）
- (2) 各セクション間の相関関係（知識の継承など）による分類。（グローバルな視点）

4. 1. 1 セクション独自の難しさによる分類

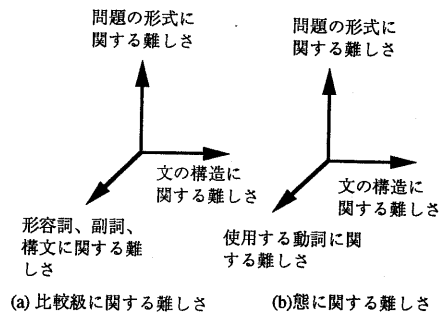


図1. セクション独自の難しさ

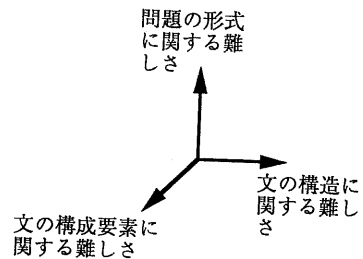


図2. 英語一般に関する難しさ

(1) の分類においては、対象知識を分類するための軸を数本（3本以上）用意する。この軸はそのセクションに存在すると思われる固有の難しさを考慮する。この軸の正当性、妥当性は厳密には述べられないが分類の有効性は十分期待できると思われる。

セクション独自の難しさの軸を“比較級”と“態”について抽出した例を図1に示す。実際の分類はその他のセクションにおいても行った。その結果、セクション中の難しさを表現する軸は大きく捉えて以下の3つが選択されると思われる（図2参照）。

- ①問題文の構成要素に関する難しさ
- ②文の構造の複雑さによる難しさ
- ③問題の形式による難しさ

①は使用する単語、熟語などに関する難しさ、②は問題文の単文・複文、関係代名詞の数などの文を理解するときに見える難しさ、③は適語挿入などの一つの単語に関する問題と、文章題における文全体の変形など、目的の知識が同じでも、その他に使用される知識の多さによる難しさの軸である。

4. 1. 2 各セクション間の相関関係による分類

(2) においては各セクションの包含する対象知識の継承関係に着目して分類を行った。最も下位の知識となるのが“現在”，“過去”，“未来”などの時制、または“単語に関する知識”などで

あり、上位となるのは下位の知識を利用し、かつそれ以外のセクション独自の知識を必要とする“仮定法”、“態”などの文全体に関する知識である。セクション間の知識の相関関係による分類の一例を図3に示す。この図における各節はそれぞれ一つのセクションを表現しており、枝は知識の継承関係を表現している。各節中の問題知識は3.1.1節で示したように数本の難しきの軸で分類されている。

また図3を演習問題知識としてでなく、問題解決知識の相関関係と見ると最下位以外の節は図4の構成になっている(最下位の節は知識の継承を受けないとする)。図4の1の知識はその節(セクション)に特有の知識であり、2・3の知識は下位の節より継承した知識である。図4の1を節固有知識、2～3を前提知識と呼ぶ。各節における演習問題は節固有の知識に関するものである。しかし、この節に分類される演習問題を解くためには1～3までの知識を理解することが必要となる。

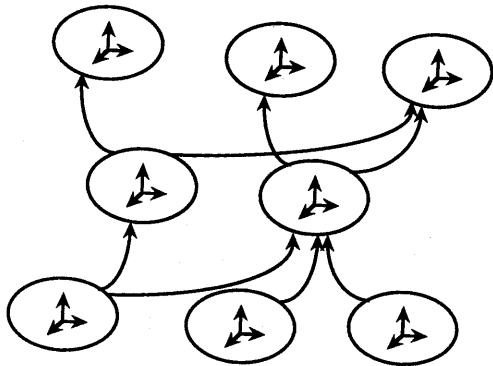


図3. 知識相関関係の概念図

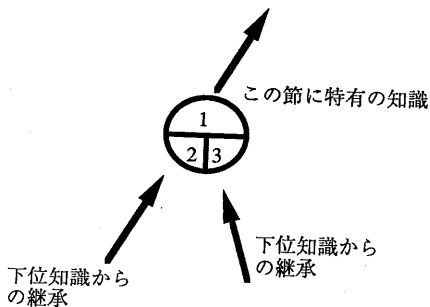


図4. 対象知識の節の詳細

4. 2 教材知識ベース

教材知識ベースでは前節にしたがって整理した知識が蓄えられている。演習問題知識やその問題解決知識はその対象に固有のものであり、知識表現も同様である事からこれ以降は学習目標が“能動態→受動態”の変形規則の獲得にあると仮定する。その場合に必要となる知識を以下に示す。

4. 2. 1 演習問題知識

演習問題知識の一例を図5に示す。この例では演習問題は一つのフレームとそのスロットによって表現されている。ここではそのような多数のフレームが3本の難しきの軸によって順序立てられている。

(Number-of-Sentence

(英文 (They sell salt at that store.))
 (文意 (塩はその店で売られている。))
 (文型 (第3文型)) (文の分類 (平序文))
 (時制 (基本現在)) (動詞 (sell))
 (目的語 (her)) (目的語の分類 (単語))

図5. 態変化問題用の英文

4. 2. 2 問題解決知識

“能動態→受動態”の問題解決知識は図6に示される手続き的知識である。この手続き的知識はIF-THEN ルールによって記述される。記述例を図7及び図8に示す。ここでIF部を前提節、THEN部を動作節と呼ぶ。また前提節、動作節を構成する項を前提項、動作項とする。この2つの受動態への変形規則は対象となる英文の特徴によって相違する。これは継承する下位からの知識にも相違する点があることになる。この場合の知識の相関関係を図9に示す。これは図3の一部を具体的に示したものである。

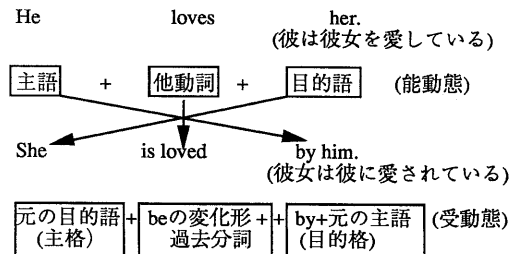


図6. 態変化基本規則

```

(if (変形目的 = (受動態))
    ( 文型      = (第3文型))
    ( 時制      = (基本現在))
    (目的語分類 = (節))
then (Itを主語とする)
    (動詞を「be+過去分詞」に変える)
    (「by+能動態の主語の目的格」を付加)
    (その他の部分を最後に付ける)
)

```

図7. 目的語が節の場合の態変形規則

```

(if (変形目的 = (受動態))
    ( 時制      = (基本現在))
    (文の分類   = (命令文))
then (文頭にLetを置く)
    (問題文の目的語をLetの後に付ける)
    (「be+動詞の過去文詞を付ける)
    (その他の部分を最後に付ける)
)

```

図8. 文が命令文の場合の態変形規則

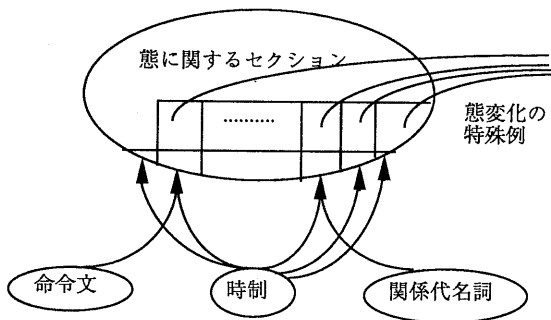


図9. 英語知識の継承の一例

5. 学習者モデル

5. 1 対象知識に対する理解状況

3章で述べた対象知識の構造にしたがって学習者の知識の理解状態のモデルを考える。対象知識をグローバルな視点とローカルな視点から分類したことにしたがって学習者の理解状態もこの二点より明らかにする。この章では学習者の理解状態、学習者のおかす誤りについて考察を行う。それを基盤として学習者モデルを構築する。

5. 1. 1 グローバルな視点からの学習者の理

理解状態

対象知識間の相関関係(図3)の視点に立つて学習者の対象知識理解を考える。学習者は最初、基本となる下位の対象知識を理解すれば、それらの対象知識を継承する節の理解へと進むことが推測される。下位の対象知識を理解せずに上位の対象知識を理解することは有り得ない。この考えと図3の知識の相関関係を併せて考えると図10に示す学習者の理解状態を抽出することができる。図10に示すように、学習者の理解状態は3つに分類される。それらの状態を以下に示す。

①達成領域 ②達成可能領域 ③未到達領域

①は前提知識、節固有知識全てを理解した状態、②は前提知識を理解しているが、節固有知識は理解していない状態、また③は前提知識、節固有知識も理解していない状態である。システムが演習問題を出題すべき知識は②である。

5. 1. 2 ローカルな視点からの学習者の理解状態

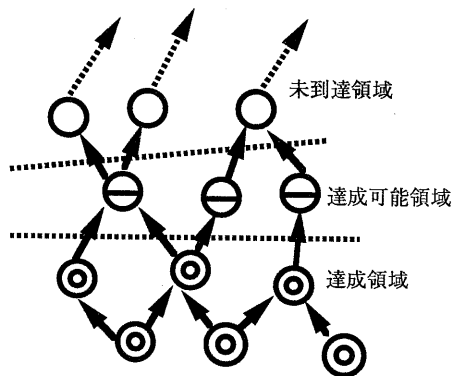


図10. 対象知識の構造と学習者の理解

各セクション内の難しさ(図2)の視点にたつて学習者の対象知識理解を考える。学習者は同一セクションに含まれる演習問題を、用意された軸にそって解いて行くにつれてその問題解決知識を定着させて行く。セクション内に用意された演習問題をすべて解けたのならそのセクションの問題解決知識は学習者に定着したといえるであろう。またそのときそのセクションは到達領域となる。

5. 2 学習者のおかす誤りについて

それぞれのセクションにおける問題解決知識が異なるため学習者のおかす誤りもセクション固有となることが推測できる。ここでも学習目標は“態”の変形に関する手続き的知識であると限定して進める。

このような手続き的知識を適用する演習問題を解く過程は大きく次の3段階に分かれる

- ①問題解決に必要な演習問題文の特徴を抽出する
- ②特徴の集合に関する変形規則を想起する
- ③変形規則を演習問題文に適用する

このように手続き的知識を適用する英文変形過程において発生すると考えられる誤りは以下の通りである。

- ①欠落的誤り
- ②知識補完による誤り
- ③思い込みによる誤り
- ④手続き的知識適用誤り

①の欠落的誤りは学習者が変形規則の一部を欠落して記憶しているために発生する誤りである。また学習者は、この誤りに気付いていない。②の知識補完による誤りは、学習者自身、知識の欠落に気付いておりそれを補おうとして発生する誤りである。③は正しい知識を誤って置き換えて記憶しているために発生する誤りである。④は正しい変形規則をもちながらその知識を適用する際に誤って発生したものである。

5. 3 学習者モデル

学習者の理解状態と学習者のおかす誤り、教授知識の構造から2通りの学習者モデルを構築する。

- ①グローバルな視点からのモデル構築
学習者の理解状態を、知識相関関係のネット

ワークをテンプレートとして表現する。ネットワークにおける節を達成領域、達成可能領域、未達成領域と分類する。これは従来のオーバーレイモデルと同様である。

②ローカルな視点からのモデル構築

ここでは演習問題を行う際にみられる誤りを抽出し、それを利用し学習者モデルを構築する。それぞれのセクションに含まれる問題解決知識をテンプレートとし、それらを構成する要素を学習者がどのような状態でもっているかを抽出し、学習者モデルに利用する。ここでは4段階の定着レベル^{[3][4]}を採用し、学習者の状態を表す。4段階の定着レベルを以下に示す。

- ①前提的知識（正しく認識、かつ定着した状態）
- ②正仮定的知識（正しく認識、しかし不安定な状態）
- ③欠落的知識（知識の欠落した状態）
- ④誤仮定的知識（誤った知識を憶えている状態）

これらの4つの定着レベルの相関関係を図11に示す。

6. 演習問題選択機構

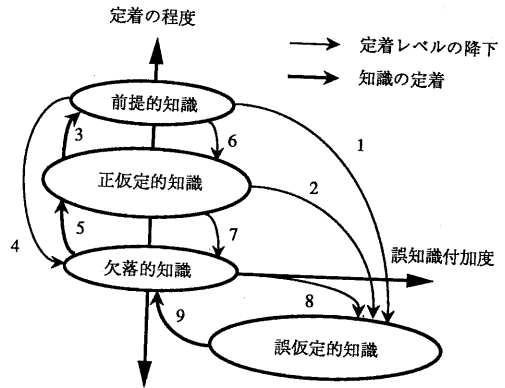


図11.知識定着モデル

ここでは学習者モデルとワーキングメモリの状況と対象領域構造に沿った問題選択を行う。

①グローバルな立場からの問題選択

知識の継承関係に従った問題選択を基本方針とする。ある節における問題を間違った場合、誤り原因同定を行い、誤り原因が前提知識にあったとすると、その原因となった節へと学習の焦点を当てる。誤り原因が節固有知識であればその節内で問題選択を行う。

また学習者がある節内の知識を全て理解し、定着したと認識した場合、この節の知識を前提知識とする節への学習目標の移行を行う。

②ローカルな立場からの問題選択

ここでは定着レベルを用いた学習者モデルを参照し、誤仮定的知識、欠落的知識を含む演習問題を優先して選択し、学習者に誤った知識に気付かせる。

7. むすび

本稿では演習問題を指向したITSの構成を述べることを目的とした。そのため、教授知識を、演習問題を意識し、2つの階層で分類し、構造を明らかにした。そしてその知識構造に基づき、2つの階層をもつ学習者モデルの構築、問題選択方略について述べた。教授知識を分類、相関関係を明確にすることで、演習問題を行う際に、必然性があり、効果的な問題選択が行える。

参考文献

- 1)E.Wenger:"Artificial Intelligence and Tutoring Systems", Morgan Kaufmann, Pub., California, 1987.
- 2)Otsuki, S. and Takeuchi, A.:Intelligent CAI System Based on Teaching Strategy and Learner Model, Proc. of WCCE 85, pp.463-468(1985).

- 3)木村吉伸, 山本米雄: “知識定着モデルを導入したITS-英文変形規則を対象として”, 情報処理学会「教育におけるコンピュータ利用の新しい方法シンポジウム」pp.179-188.1989
- 4)山本米雄, 柏原昭博: “知識定着を目的とした開放型CAIのモデル化”, 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol. J72DII, NO. 9, pp1459-1471(1989).
- 5)大槻説乎, 山本米雄: “知的CAIのパラダイムと実現環境, 情報処理学会学会誌, Vol.29, No 11, pp 1255-1265(1988).
- 6)竹内章, 大槻説乎: “摂動法による学習者モデル形成と教授知識について”, 情報処理学会論文誌, Vol.1, No.1, pp. 54-63(1987).
- 7)波多野誼余夫, 稲垣佳代子: 知力の発達, 岩波新書(1977)