

初等算数文章題のためのC A Iシステム

高濱 徹行 阪井 節子 飯塚 由紀子 佐藤 直子
 福井大学工学部 福井大学教育学部

1. はじめに

日本の算数教育の現場において、数式の計算方法の習得に比べて文章題などの応用問題の習得が困難な傾向にあることが指摘されている。この原因として、

- ①文章題からそれが表現する数式への変換方法を教えるための方法論が確立していない
- ②生徒側から応用問題を出題させることが変換方法の習得に有効であると考えられるが、
 多人数教育という教育形態では十分な対応が困難であること

などが挙げられる。このような問題を解決するためには、

- ①応用問題を多数出題することにより経験則として変換方法を習得させる
- ②直接応用問題を解くことが困難な場合には、必要に応じて変換の途中段階を教える
- ③生徒側から応用問題を出題させ、その評価を行う

という機能を持つ教育システムを導入することが有効であると考えられる。

本研究では、応用問題の範囲として小学校低学年の算数文章題を対象とし、上記の機能を持つ初等算数文章題C A Iシステムを提案する。

2. システムの概略

本C A Iシステムは、算数文章題の自習教材としてよく使用されるドリル形式をとる。ドリルは、一連の演習から構成され、演習は複数の問題で構成される。ドリルはあらかじめ決められた固定的なものではなく、学習者の理解状態に基づいて選択された問題が演習として出題される学習者毎の個別ドリルとなる。

システムは、図1のように以下に示す部分から構成される。

●問題解析部

文章題の実例を解析し、文章題のパターン、文章題が表現する数式、文章題の文章のレベルを抽出し、文章題データベースを構成する。

●ドリル管理部

ドリル指定と学習者の理解状態を示すユーザーモデルに基づき、1回の演習で出題する問題のセットを生成する。ここでは、文章題ではなく数式で問題を指定する。

●演習管理部

ドリル管理部から送られた各問題の指定(数式, モード, 文章レベル)を問題提示部に送り、問題提示部から返された学習者の解答結果に基づいてユーザーモデルを更新する。

○問題提示部

モードが出題モードならば、文章題データベースを参照し、数式を指定された文章レベルの文章題に変換して学習者に提示する。返答モードならば、数式を提示して文章題に変換することを求める。

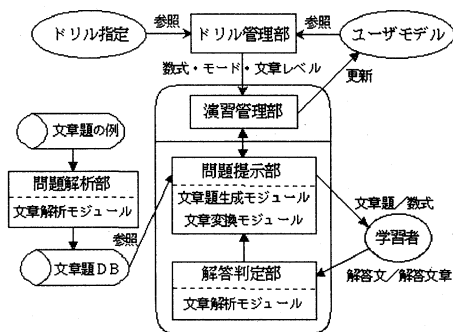


図1 システム概念図

解答判定の結果が不正解ならば、文章題をより学習者に分かりやすい形式に変換して提示する。不正解となる毎に、①最も簡単な文章題である省略表現、②数式表現、③おはじき表現の順に変換して提示する。

○解答判定部

出題モードならば、学習者からの解答文を解析し、解答の数値などと一致するかどうかを判定する。返答モードならば、解答された文章題を解析し、解答の数式と一致するかどうかを判定する。

3. ユーザモデルとドリル指定

●ユーザモデル

ユーザモデルは、数式レベル毎に理解レベルを保持することによって表現する。

○数式レベル

数式の難易度を表すレベルであり、以下のように分類している。

- ① 繰り上がりのない1桁の和 : ○ + ○ = ○
- ② 繰り下がりのない1桁の差 : ○ - ○ = ○
- ③ 繰り上がりのある1桁の和 : ● + ● = 1 ●
- ④ 繰り下がりのある1桁の差 : 1 ● - ● = ●
- ⑤ 2桁の10の倍数の和 : ○ 0 + ○ 0 = ○ 0
- ⑥ 2桁の10の倍数の差 : ○ 0 - ○ 0 = ○ 0
- ⑦ 繰り上がりのある2桁と1桁の和 : ● ● + ● = ● ●
- ⑧ 繰り下がりのある2桁と1桁の差 : ● ● - ● = ● ●
- ⑨ 繰り上がりのない2桁の和 : ○ ● + ○ ● = ○ ● ●
- ⑩ 繰り下がりのない2桁の差 : ○ ● - ○ ● = ○ ● ●
- ⑪ 繰り上がりのある2桁の和 : ● ● + ● ● = ● ● ●
- ⑫ 繰り下がりのある2桁の差 : ● ● - ● ● = ● ● ●
- ⑬ 加算結果が3桁の和 : ● 0 + ● 0 = 1 ● 0
- ⑭ 被減数が3桁の差 : 1 ● 0 - ● 0 = ● 0

○理解レベル

各数式レベルにおける理解度を表すレベルであり、以下のように分類している。

- ① おはじき表現で正解
- ② 数式表現で正解
- ③ 文章題を単純化した省略表現で正解
- ④ } 文章題で正解 { 文章題レベル1 (比較的単純)
- ⑤ } 文章題で正解 { 文章題レベル2 (比較的複雑)

なお、文章題は文章としての難易度で2つのレベルに分ける。

○ユーザモデルの更新

CAIシステムの目的は、全てのレベルの数式において規定されたレベルの理解を達成することである。理解レベルの更新は以下のように行う。

- ① 理解レベルの度数分布に今回の解答の理解レベルを追加する
- ② 度数1, 2位の理解レベルを L_1, L_2 としその度数を N_1, N_2 とする
- ③ 新しい理解レベルを $(L_1 * N_1 + L_2 * N_2) / (N_1 + N_2)$ に更新する

●ドリル指定

ドリル指定は、ドリルおよび演習の基本構成を指定するため、以下の情報を指定する。

- ① 演習1回当りの問題数
1回の演習で出題する問題数を指定する。
- ② 解答内容毎の得点
文章題、省略表現、数式、おはじき表現、に対して正解した場合の得点を指定する。
- ③ 数式レベル毎の最小出題数
比較的単純な文章、比較的複雑な文章、返答モード、に対する最小の問題出題数を指定する。

- ④数式レベル毎の規定理解レベル
最小出題数以上の問題に対して連続して規定理解レベルを越えた場合は、その数式レベルを達成したとみなす。
- ⑤数式レベル毎の数式生成規則
各数式レベル毎に実際の数式を生成する規則を指定する。

4. 文章題の解析

問題解析部および解答判定部では、文章解析モジュールを利用して文あるいは文章を解析する。文章解析モジュールは、図2のように以下に示す部分から構成される。

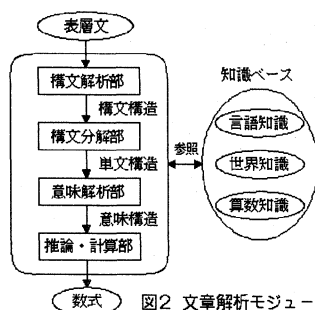


図2 文章解析モジュール

●知識ベース

言語知識、世界知識、算数知識から構成される。

○言語知識

構文解析のための文法規則、各品詞に対する単語やその活用を記述した単語辞書、助数詞とその活用を記述した助数詞知識からなる。

○世界知識

名詞をクラスに分類しクラスの上下関係を表現するクラス知識、色・形・大きさ・性別などの属性を表現する属性知識、動詞の格構造を表現する格構造知識、同義語や同じものを表現する異なる表記を表現する同義語辞書からなる。

○算数知識

算数文章題を理解し、計算方法を判定するために重要な役割を持つ「あわせて」「ちがひ」などのキーワードに関する知識である。

●構文解析部

表層文を文法規則に従って構文解析し、構文構造を得る。

《例》表層文：あかと きいろの はなが ぜんぶで 26ほん さきました。

構文構造：文([が格=[はな, [の格=[と格=[あか, きいろ]]], [助詞=[が]]],
副詞=[ぜんぶで], 数量格=[26, ほん, []], 動詞=[さく, 助動詞=[ます, た]])

●構文分解部

構文構造のうち、重文や数値的に複数の事項を表現している文を単文構造に分割する。また、数式を計算する際に利用する式の抽出も行う。

《例》構文構造：文([が格=[おとこのこ], 数量格=[8, にん, []],
が格=[おんなのこ], 数量格=[5, にん, []], 動詞=[いる, 助動詞=[ます]]])

単文構造：文([が格=[おとこのこ], 数量格=[8, にん, []], 動詞=[いる, 助動詞=[ます]]]
文([が格=[おんなのこ], 数量格=[5, にん, []], 動詞=[いる, 助動詞=[ます]]])

特に、キーワードを含む文については式を抽出したり、文と式に分割する場合がある。

《例》構文構造：文([副詞=[みんなで], 数量格=[なん, だい, []],
動詞=[なる, [助動詞=[です, う]]])

単文構造：質問式([$\sigma(x)$], [だい, に], [みんなで], 動詞=[なる, [助動詞=[です, う]]])

《例》構文構造：文([が格=[はな, [の格=[と格=[あか, きいろ]]],
副詞=[ぜんぶで], 数量格=[26, ほん, []], 動詞=[さく, 助動詞=[ます]])

単文構造：文([が格=[はな, [の格=[あか]]], 数量格=[x, ほん, []],
動詞=[さく, 助動詞=[ます]])
文([が格=[はな, [の格=[きいろ]]], 数量格=[y, ほん, []],
動詞=[さく, 助動詞=[ます]])
式([$x+y=26$], [ほん, []], [ぜんぶで], 動詞=[さく, 助動詞=[ます]])

●意味解析部

単文構造を格構造に基づく意味構造に変換するとともに省略された格を補う。

《例》単文構造：文(〔格=[ばす], 格=[おきゃく], 数量格=[23, にん, []], 動詞=[のる, 助動詞=[いる, ます]]])

意味構造：condition(〔location=[ばす], agent=[おきゃく], number=[23, にん, []], action=[のる, [いる, ます]]])

必要な格が省略されている場合には、既存の意味構造を参照して格を補足する。

《例》単文構造：文(〔時格=[また], 数量格=[5, にん, []], 動詞=[のる, くる, 助動詞=[ます, た]]])

意味表現：condition(〔agent=[おきゃく], source=[there], goal=[ばす], time=[また], number=[5, にん, []], action=[のる, くる, [ます, た]]])

●推論・計算部

意味構造を参照し、数式を抽出する。ある場所に存在する事物の数やあるクラスの事物の数を積算する場合と、式に基づいて数を一致させて計算する場合がある。

《例》condition(〔agent=[じどうしゃ], number=[3, だい, []], location=[here], action=[ある, [ます]]])

condition(〔time=[また], agent=[じどうしゃ], number=[2, だい, []], location=[here], action=[くる, [ます, た]]])

query(〔agent=[じどうしゃ], number=[z, だい, に], location=[here], action=[なる, [た, です, う]]])

location=[here] における「じどうしゃ」の数を積算し、 $3+2$ を抽出する。

5. 文章題の生成

文章題の生成は、指定された文章レベルの問題パターンを文章題データベースから抽出し、抽出したパターンに数式を当てはめることで実現する。なお、パターンには構文構造を記述し、文章題を提示するときに表層文に変換し直す。

《例》パターン：problem(2, $X+Y$,

[文(〔格=[おとこのこ], 数量格=[X , にん, []], 格=[おんなのこ], 数量格=[Y , にん, []], 動詞=[いる, 助動詞=[ます]]), 文(〔格=[こども, [は]], 数量格=[なん, にん, []], 動詞=[いる, 助動詞=[です, う]])])]

数式 : $3+5$

表層文 : おとこのこが 3にん おんなのこが 5にん います。
こどもは なんにん いるでしょう。

文章レベル2の加算のパターンに基づいて数式 $3+5$ を表層文に変換している。

6. おわりに

初等算数文章題のためのCAIにおいて、文章題の解析と文章題の数式への変換を行うことにより、文章題の表現の難易度を考慮するとともに、学習者側からの出題にも対応可能なCAIシステムが構築できることを示した。

現在のシステムには、以下のような課題が残されている。

①より厳密な文章の文法的・意味的解析

文法解析における動詞の選択ミスを解消するとともに、学習者の出題に対してより適切な指導を行うことが期待できる。

②数式からの文章題の生成

文章題データベースを参照せずに、数式と文章レベルから文章題を生成する研究を行っている。現状では文章レベルの指定ができないため、改良してゆく予定である。

参考文献

- [1] 笹田国博, 小高知宏, 高濱徹行, 小倉久和: "算数問題文の解析とその知識表現", 福井大学工学部研究報告, Vol. 42, No. 1, pp. 53-66 (1994)
- [2] 阪井節子, 佐藤和枝, 佐藤直子, 高濱徹行, 宮坂憲治: "低学年算数文章題における自然言語理解について", 福井大学教育学部紀要第V部 応用科学(技術編), Vol. 26, pp. 1-20 (1995)