

## 算数の文章題を対象としたネットワーク型知的教育支援環境

岩根 典之<sup>†</sup> 竹内 章<sup>††</sup> 大槻 説乎<sup>†</sup>

### A Network Type Intelligent Educational System for Arithmetic Word Problems

Noriyuki IWANE<sup>†</sup>, Akira TAKEUCHI<sup>††</sup>, and Setsuko OTSUKI<sup>†</sup>

あらまし 算数の文章題に対する知的教育支援の方法とネットワーク学習環境の構築方式について提案する。自然言語で表現された算数の文章題を、構文解析、数学的意味解析、立式・計算の各処理によって計算機自身が解き、その過程で生成したデータを用いて学習者の理解度に適した支援を行う。本論文では、基本的な考え方も含めて計算機で加減算の文章題を解く方法、および、アニメーションを用いた理解支援の方法について述べる。最後に、このような知的教育支援システムのネットワーク上への構築について述べる。

キーワード 知的教育支援環境, 算術文章題, 理解支援, マルチメディア, ネットワーク

#### 1. ま え が き

知的教育支援に関する研究は、そのシステムの構造と機能を洗練しながらさまざまな対象分野で行われてきた。算数はそのような対象分野の一つとして、計算問題や幾何学図形の証明問題などを対象に、既に多くの研究課題が取り上げられている。算数の文章題を対象とする本研究は、個々の学習者に適応した理解支援を行う知的教育機能に加えて、Web技術によりネットワーク上の任意の学習者にこのような環境を提供することを目的とする。すなわち、従来の教室における授業のみでは困難であった、学習者の理解状況に応じた教育/学習の個別対応という深さと、ネットワークによる空間的・機能的広がりをもった知的教育支援環境を提供するものである。算数の文章題を通じて学習者に期待される効果には、問題解決能力だけではなく、問題の理解能力、問題の抽象化/具体化能力の向上などが挙げられる。本論文では、ネットワーク上のコンピュータを利用して特定の機種に依存することなくこれらを知的に支援する教育環境の構築手法について提案する。

算数の文章題に関する研究は認知科学の対象として、古くから研究されてきた[1], [2]が、教育支援システム

として取り上げられたのは、1970年後半からである[3]~[5]。この中でも最も広く知られている Kintsch & Greeno の仕事[6]は、Kinch & van Dijk の文章処理論[7]による意味表現を用いて、それ以前の問題解決型の埋込知識表現を、生成型知識に置き換えるという提案であり、その後の知的教育支援システム構成論に少なからぬ影響を与えた[8]。この考え方は Bobrow[9]のころから存在したが、システム構成論としてモデル化したのは Greeno らの成果である。本論文で扱う教材部品も生成型知識であるが、加減算に用いられる文章は、小学校低学年のほとんどの子供が容易に理解できることが前提となっているので、自然言語理解の問題よりも、数学的意味理解を支援する問題の方がはるかに重要である。この観点から、Greeno らの研究が自然言語理解を基礎にした文章題の分類と意味表現に焦点を当てたのに対し、我々はアニメーションと整合する数学的意味構造とそれを用いた教育支援と、そのネットワーク環境の構成論に主眼を置く。従って、本論文では文章題から自然言語の構文情報を表現する素性構造 (feature structure)[10]への変換過程の記述は省略した。

本学習環境は、サーバシステムとクライアントシステムから構成される。ネットワーク上の任意のクライアントは、サーバから html テキストや applet プログラム[11]を受け取る。一方、サーバは、クライアントから applet を通じて学習結果を表す学習者モデルのデータを受け取る。学習者は、applet が動作可能な既存の Web ブラウザを利用して、データを取り寄せることでこうした環境を利用できる。

<sup>†</sup> 広島市立大学情報科学部知能情報システム工学科, 広島市 Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University, Hiroshima-shi, 731-31 Japan

<sup>††</sup> 九州工業大学情報工学科知能情報工学科, 飯塚市 Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology, Iizuka-shi, 820 Japan

以下では、算数の加減算のための文章題に対する知的教育支援について、基本システムの構成とそのネットワーク化の観点から述べる。基本システムは、自然言語の構文解析モジュール／数学的意味解析モジュール／立式モジュールからなる教材知識生成部と、学習制御モジュール／学習者管理モジュール／情報解釈・生成・提示モジュールからなる学習支援部に分けられる。まず、2.で文章題解決に対する基本的な考え方を示し、3.で基本システムを教材知識生成部と学習支援部に分け、その構成内容を述べる。4.では、こうした支援をネットワーク上で提供するための方式について述べ、最後に5.で検討とまとめを行う。

## 2. 基本的な考え方

算数の文章題は、通常自然言語による文章とは本質的に異なる。すなわち、さまざまな曖昧性をもつため処理が困難な普通の文章と異なり、算数の文章題はいかに複雑でも必ず一つ以上の式で表せる。言い換えれば、文章題を抽象化したものが式、式を具象化したものが文章題という対応が完全にとれ、意味的なあいまい性を伴わない。そして、与えられた文章題は、解ける問題であれば、対応する式の組を適切な順に計算していくことで答が得られる。人間は、さまざまな常識で文章題の意味を補いながら、問題を理解し、式を立て、最終的な答(与えられた問題で問われる数量)を計算する。このような人間の問題解決過程を、計算機が支援するためには、計算機自身が人間と同じように問題解決できなければならない。計算機がこのような能力をもつことができれば、計算機が行う質問や応答を一人ひとりの学習者の理解支援に適切な内容にできる。

### 2.1 人間の問題解決

ここでは、どのようにして人間が算数の文章題を解くかについて考察する。人間は、算数の文章題が与えられると、まず問題を理解し、それから式を立てる。ここで問題の理解とは、記述されている文章題の内容を次のような順序で認識することであると考える。

1) 文章の中から計算の対象物を同定する。対象物の属性である数量(未知の場合も含む)、可算・非可算の別、識別情報(赤いリボンの「赤い」や太郎の本の「太郎」など)を認識する。

2) 文章題を構成するそれぞれの単文が対象物の数量変化にどうかかわっているかを認識する。まず、動詞の意味によって、単文を対象物の状態を表す文と対

象物に及ぼす作用を表す文に区別する。前者は「ある」、「もっている」などの存在動詞や状態動詞が使われ、後者は「食べる」、「もらう」などの作用動詞が使われる。

作用の内容は、加減算の文章題に限れば、数量変化(食べると減る、もらうと増えるなど)と数量比較(大小比較、部分・全体関係)の2種類あり、人間は常識を援用して、上に述べた文章の意味を理解する。

この過程で用いられる重要な単文理解の原則は次の三つである。

- a) 数量変化を表す作用には、変化の前の対象物の状態と、変化の後の結果を表す状態が付随する(この初期状態、作用、結果の三つ組を算術式の因果関係と名づける)。従って「醤油を2リットル使うと4リットル残りました」のように初期状態(または結果)を表す文が省略されている場合でも、初期状態が存在すること(使う前に醤油があったこと)を推測できる。
- b) 授与動詞によって作用を表す場合、対象物の数量は相対変化を伴う。例えば、太郎がマールを3個次郎に与えると、太郎のマールは3個減り、次郎のマールは3個増える。
- c) 数量比較を表す単文は、複数の対象物の状態を作用の対象(比較の対象または部分・全体関係)として認識する。

3) 最終的に何を求めるかがどこに記述されているかを同定する。同定の手掛りとして、疑問詞のほか時相詞(はじめ、おわり、結果など)や状態指定詞(あわせて、みんなでなど)を用いて、求める数量を認識する場合と、「いくら食べたでしょう」のように、作用動詞を用いて求める作用量を認識する場合がある。

例えば「ミカンが10個ありました。太郎君が何個か食べました。花子さんが2個食べたならミカンは全部で3個になりました。太郎君はミカンを何個食べたのでしょうか」の例を考える。最後の疑問文の疑問詞(何個)と作用動詞(食べた)と識別情報(太郎さん)から、「太郎君が何個か食べました」という単文が表す状態を尋ねていると認識する。

4) 単文の意味から、数量変化に関するメンタルモデル(因果の時系列)を作る。時相詞と状態指定詞がつく単文を時系列上に正しく位置づけ、省略されている状態を補完すれば、因果の時系列ができる。すなわち時相文、状態指定文および省略文以外の単文は出現順に因果の時系列上に現れる。

5) モデルから算術式の因果関係を切り出す。複雑

な文章題では、切り出された算術式の因果関係の項の一つが、次の算術式の因果関係の項の一つとして用いられる。

6) モデルの中の可解な部分(未知量の一つを含む場合)を切り出して立式する。このとき二つの既知量を用いて未知量を求めるので、「食べると減る」という作用の初期状態が未知量ならば「食べる前は食べた量だけ残りより多い」という逆作用の常識を用いる必要が起こる。二つ以上の算術式の因果関係を含む場合は、要求されている答がでるまで、立式・計算を繰り返す。

## 2.2 計算機による問題解決と学習支援

では、いかにして人間と同じような問題解決を計算機で行うか、また、そこからいかに有効な学習支援が可能であるかについて述べる。

計算機による理解処理は、単語の数学的意味に基づく単文の意味解析から全文の意味解析を経て算術式の因果関係を生成する。算術式の因果関係を構成する各項は文章題中の単文に対応し、sentence( num, role, info)の形式で表現される。num は文章題における単文の出現順番、roleは単文が作用に関するものか、状態に関するものかを示す。infoはroleに付随する情報(単文情報と呼ぶ)へのポインタである。roleの値により、infoで指される情報の内容は次の2通りに分けられる。

### a) role の値が状態 (state) の場合の単文情報

動詞：該当する単文の動詞(残る, あるなど)

実体：名詞(ひも, リンゴなど)

数量値：実体に関する数量(3m, 4個など)

属性情報：単位当りの数量(100円/m, 50円/個など)

識別子：実体の識別情報(「太郎の本」の「太郎」, 「赤いひも」の「赤い」など)

状態位置：状態の識別番号

既知/未知：数量値の値が未知か既知か

図表現部品：実体を抽象的に表現したもの(形と色のデフォルト値)

### b) role の値が作用 (effect) の場合の単文情報

動詞：該当する単文の動詞(使う, 食べるなど)

作用対象：名詞(ひも, リンゴなど)

作用量：作用対象に及ぼす数量(5m, 3個など)

作用位置：動詞が作用する状態の識別子で、状態位置で指示する。作用が比較または相対変化を表す場合は複数の作用位置をもつ

作用：動詞がもっている数学的な演算概念(プラスかマイナス)

因果タイプ：六つの因果タイプの一つ(表1参照)

既知/未知：作用量の値が未知か既知か

図表現部品：作用対象の図表現部品(形と色のデフォルト値)

算術式の因果関係は、人間の場合と同様に、時相名詞や状態指定詞を含む例外的な場合を除いて、デフォルトとして単文の出現順序によって生成される。例外処理も、人間の場合と同じで、時相詞(はじめ, 最後, 残りなど)に基づく項の欠落の補完と状態位置の変更である。文章題を意味解析した結果により得られる情報、すなわちsentence(num,role,info), infoが指す単文情報、算術式の因果関係、および立式した算術式は、部品化し再利用できるように文章題、素性構造と共に教材部品ベースに蓄積していく。このように問題を人間と同じ過程で解析し、得られた知識を表現・蓄積することで、以下のような利点が得られる。

- ・学習者が、文章題のどの部分かわかっていないかの同定が容易になる。

- ・単文をアニメーションの基本単位として利用できるので、文章題の任意の場所をアニメーションによって説明できる。

- ・文章題中の単文の位置が保存されるので、同じ作用の対象でもどの部分を問題にしているかを識別できる。

- ・構文解析で素性構造に用いる述語は統一されており、情報の位置や役割が明確であることから、数学的意味解析において必要な情報の選択が容易になる。

一方、単文情報構築のもととなる単語の数学的意味は、下のような辞書知識として格納しておく。

名詞辞書：[名詞, カテゴリー, 図表現, 加算単位]  
例) [リンゴ, 加算, [まる, 赤], 個]

動詞辞書：[動詞, カテゴリー, 因果の種類, 作用の種類]  
例) [食べる, 作用, 単体変化, マイナス]

単位辞書：[単位名, カテゴリー, 基準値, スケール値]  
例) [メートル, 長さ, センチメートル, 100]

文章題で記述された問題を図的に理解するのに使われる部品のことを図表現部品と呼ぶ。単文の意味解析の際に、単文の数学的意味や役割に応じて、roleの値と辞書知識から対応するプリミティブな図表現部品を同定する。また、因果タイプの分類基準の知識も同様に知識ベースとして格納しておき、全文処理のとき、この知識を参照して与えられた文章題の因果タイプを同定する。

表1 算数の文章題における因果タイプ  
Table 1 Causal types in arithmetic word problems.

因果タイプ	定義	例題	図表現部品
単体変化問題	対象となる状態数が1つであり、その状態の構成要素であるオブジェクトに関する数値の変化のみに焦点が当てられている算数の文章題	リンゴが5個あります。3個食べました。何個残ったでしょう	
相対変化問題	対象となる状態数が複数であり、各状態の構成要素であるオブジェクトに関する数値の変化は全体としては保存され、かつ状態の数は変化の前後で不変である算数の文章題	太郎君はあめを5個、花子さんはあめを3個持っています。太郎君は花子さんに2個あげました。太郎君と花子さんはそれぞれあめを何個持っているでしょう	
比較問題	対象となる状態数が複数であり、それぞれの状態の構成要素であるオブジェクトに関する数値の差異関係に焦点が当てられている算数の文章題	太郎君は8歳です。花子さんは太郎君より3歳年下です。花子さんはいくつでしょう	
部分全体問題	状態の数を決定する基準が変化する、すなわち全体集合と部分集合の視点を変える算数の文章題	リンゴが3個、ミカンが2個あります。あわせて何個あるでしょう	
時間問題	対象が関与する時点や、時点間の長さを問う算数の文章題	花子さんは6時から8時半まで勉強しました。何時間勉強したでしょう	
空間問題	対象の位置や距離を問う算数の文章題	家から郵便局まで2km、そこから駅は1kmです。家から駅まで何kmでしょう	

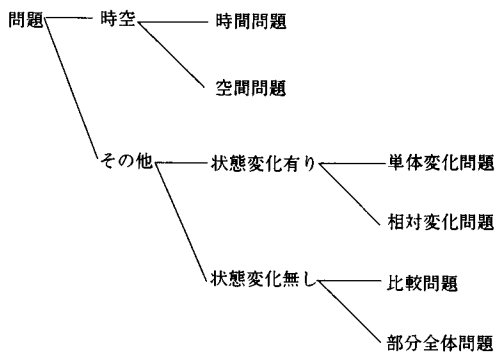


図1 因果タイプの分類構造  
Fig. 1 Classification tree for arithmetic causal types.

因果タイプ知識は、小学校で使用されている教科書[12]や、市販されている問題集[13]の計8冊に掲載されていた文章題118題の加減算について分析した結果、作用の種類とアニメーションの表現を考慮すると表1に示す6種類の因果タイプに分類できることがわかった。因果関係知識は文章題の因果タイプの分類知識と因果タイプごとに利用できる図表現部品からできている。因果タイプの図表現部品とは、単文の意味を図示するのに用いたプリミティブな図表現部品を因果タイプに応じて接続したものである(表1参照)。図1は問題の分類構造を示しており、その分類知識は次の内容であ

る。数量情報に、単位を表す記述(例えば、 $\text{km}/\text{m}/\text{cm}$ や $\text{時}/\text{分}/\text{秒}$ )があるかないかを見て時空間問題とその他の問題に分ける。前者は単位を認識した時点で時間問題か空間問題かを識別できる。同様に、後者は状態変化のあるものとならないものに分けることができる。「ある」や「～になる」の存在動詞と「残る」や「持っている」の状態動詞の場合は状態変化が起こらないが、「あげる」や「もらう」の授与動詞と「使う」や「食べる」などの他動詞の場合は状態変化が起こることが判断できる。状態変化のあるものを更に単体変化問題と相対変化問題に分けるための知識は、状態数が1つか複数かというものである。状態変化のあるもの以外は、最終的に比較問題か部分全体問題に分けられる。これらも、「～より大きい」などの比較表現や「全部」などの集合表現によって判断する。

立式処理は解法知識を参照し、算術式の因果関係から「計算=答」の系列を生成する。解法知識は以下のものである。

- (a) if 算術式の因果関係の第3項が未知である  
then 算術式の因果関係の順番のままでも式を立てる
- (b) if 算術式の因果関係の第1項が未知である  
then 第3項の数量, 第2項の逆作用, 第2項の数量=未知量
- (c) if 算術式の因果関係の第2項が未知&作用がマ

イナスである

then 第1項の数量, マイナス, 第3項の数量=未知量

(d) if 算術式の因果関係の第2項が未知&作用がプラスである

then 第3項の数量, マイナス, 第1項の数量=未知量

### 2.3 理解支援

学習者の理解支援は、単語レベル、単文レベル、因果関係レベル、複数の因果関係レベルの4段階に分ける。単語レベルは単語の辞書知識を、単文レベルは単文知識を、因果関係レベルは因果タイプ知識と解法知識と教材部品を、複数の因果関係レベルは解法知識と教材部品を用いて次の支援機能を提供する。

・学習者が入力した解答式から学習者がどのレベルで行き詰まっているか判定して、そのレベルの数学的意味や立式に関する学習者の質問に回答する。学習者からの質問は、定型的な質問形式(「なぜ～なのですか」/「なぜ～でないのですか」/「わかりません」/「～ですか」)、および各レベルにおける対象物を提示しておき、それらの組合せにより受け付ける。学習者はこれらをマウスで指示することにより質問できる。システムは、問題解決木により学習者の質問箇所を同定し、教材部品知識の記述内容を用いて答える。例えば、学習者の理解度に応じてアニメーションの図表現を変更

する。学習者から何の解答も得られないときは、単語レベルから順に質問を行い、行き詰まっている原因を同定する。

・学習者が正しく学習した知識と間違えた知識を判定して、理解状態を保存するために辞書知識、単文知識、因果関係知識、解法知識のオーバレイモデルを作成する。例えば、「食べる」という単語とマイナス(減る)という作用の関係に気づかない学習者は、動詞辞書知識の当該語の作用の種類が欠落と記録され、逆作用の知識が欠落している学習者は解法知識の当該部分が欠落していると記録される。

・理解支援のレベルと因果タイプに応じて、質問やアニメーションを図/テキスト/音声により提示する。

### 3. 基本システムの構成

図2は、算数の文章題を処理する上で必要な基本システムの構成の概要を示す。基本システムは、教材知識生成部と学習支援部に分けられる。各部は、以下に示すようないくつかの処理モジュールと知識ベースからなる。

#### 3.1 教材知識生成部

数学的意味解析モジュールは、素性構造を入力として意味知識ベースと因果タイプ知識ベースを参照することで単文知識と因果関係を生成する。

教材部品は、単文の意味処理と全文の意味処理によ

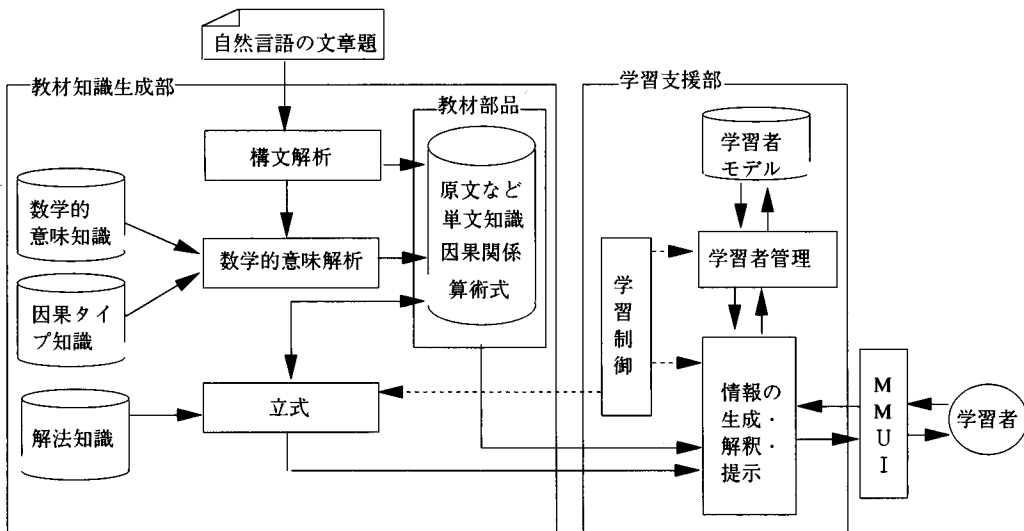


図2 算数の文章題支援システムの基本構成  
Fig. 2 Fundamental structure of arithmetic word problems.

り、以下の処理ステップで生成される。

#### 【単文の意味処理】

- (1) 素性構造から文章題を単文に分解し、(2)~(5)の処理をすべての単文に対して適用する。
- (2) 出現順に文番号を付ける。
- (3) 単文の単語と辞書を照合し、単語の数学的意味/役割を同定する。
- (4) (3)の結果を参照して素性構造から単文情報を生成する。
- (5) sentence(num, role, info)形式を生成する。

#### 【全文の意味処理】

- (1) 時相詞と状態指定詞から欠落状態と重複状態を同定し、単文の意味順序を求める。
- (2) 算術式の因果関係を生成する。
- (3) 解法知識を用いて最終解に到達する算術式の因果関係間の演算順番を求める。

以下、例題を用いて文章題から算術式の因果関係が求められるまでを示す。

例題1) 『ミカンが7個あります。3個食べると何個残るでしょう。』

→ (単文分解) 『ミカンが7個あります。ミカンを3個食べます。ミカンは何個残るでしょう』

→ (単文意味処理)

(ミカンが7個あります) sentence(1, state, info1),  
 (ミカンを3個食べます) sentence(2, effect, info2),  
 (ミカンは何個残るでしょう)  
 sentence(3, state, info3)

第1引数は単文の出現順序を、第2引数は状態と作用の種別を、第3引数は下記の単文情報へのポインタを表す。

info1-> 動詞: ある	info2-> 動詞: 食べる	info3-> 動詞: 残る
実体: ミカン	作用対象: ミカン	実体: ミカン
数量値: 7個	作用量: 3個	数量値: ?
属性情報: nil	作用位置: 1	属性情報: nil
識別子: nil	作用: マイナス	識別子: nil
状態位置: 1	因果タイプ: 単体変化	状態位置: 2
既知/未知: 既知	既知/未知: 既知	既知/未知: 未知
図表現部品: 丸, 橙	図表現部品: 丸, 橙	図表現部品: 丸, 橙

→ (算術式の因果関係生成)

(eq1) [sentence(1, state, info1), sentence(2, effect, info2),  
 sentence(3, state, info3)]

例題2) 『ミカンが10個ありました。太郎君が何個か食べました。花子さんが2個食べたらミカンは全部で3個になりました。太郎君はミカンを何個食べたので

しょう』

→ (単文分解省略) ...

→ (単文意味処理) 単文情報は省略する。

(ミカンが10個ありました)sentence(1, state, info1),  
 (太郎君が何個か食べました)sentence(2, effect, info2),  
 (花子さんが2個食べました)sentence(3, effect, info3),  
 (ミカンは全部で3個になりました)  
 sentence(4, state, info4),  
 (太郎君はミカンを何個食べたのでしょうか)  
 sentence(5, effect, info5)

文番号2と5は重複状態を表す。

→ (数学的意味順序の生成)

sentence(1, state, info1), sentence(2, effect, info2),  
 sentence(2.5, state, info6),  
 sentence(3, effect, info3), sentence(4, state, info4)

info5の知識を継承するのでinfo2は最終解を示す未知量を含む。文番号2.5は欠落知識の補充による。

→ (算術式の因果関係の生成)

(eq1) [sentence(1, state, info1), sentence(2, effect, info2),  
 sentence(2.5, state, info6)]

(eq2) [sentence(2.5, state, info6), sentence(3, effect, info3),  
 sentence(4, state, info4)]

→ (算術式の生成)

(eq1) [sentence(4, state, info4), sentence(3, effect, info7),  
 sentence(2.5, state, info6)]

(eq2) [sentence(1, state, info1), sentence(2.5, effect, info6),  
 sentence(2, effect, info2)]

2.2の解法知識(b)より, (eq1)のinfo7はinfo3の逆作用を示す単文情報を指す。解法知識(c)より, (eq2)の文番号2.5のeffect (マイナス) が得られる。

### 3.2 学習支援部

学習支援部は、学習者モデルの理解状態に適応した支援レベルにおいて因果タイプに対応する図表現部品を用いて質問・応答、ヒント提示、アニメーションによる説明などの支援を行う。学習支援部は学習管理モジュール、情報の解釈・生成・提示モジュール、学習制御モジュールから構成される。

学習者管理モジュールにおいて、オーバーレイ型の学習者モデルのデータ構造は、問題の解答が正しいか間違いかのラベルだけでなく、間違った場合は間違い知識(学習者が適用を誤った知識)も記録する。但し、保存される間違い知識の数は一定量であり、古いものから順に捨てられる。

算術式の因果関係の未知の項で結合される階層木を

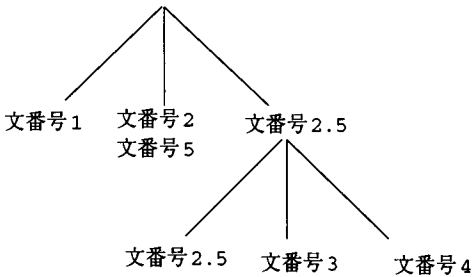


図3 例題2の問題解決木  
Fig. 3 Problem solving tree for Ex. 2.

問題解決木と呼ぶ。例えば、例題2の問題解決木は、図3で表される。情報の生成・解釈・提示モジュールは、問題解決木のどこで行き詰まっているかを判断して、階層木の該当部分を教授する。この問題解決木と木の各ノードに対応する図表現部品や素性構造の接続情報を使い、学習者が行き詰まっている箇所に焦点をあて、図と文章題の対応を示しながら重点的に説明を行う。このとき、行き詰まった学習者に提供される質問は、例えば図4や図5である（どちらも表1に示す単体変化問題のアニメーションのフレームワークを利用している）。画面例で、四角形は状態を表し、その中にはその対象に関する数量が示されている。また、五角形は作用を表し、作用の方向は矢印、その数量は図形の上に表示されている。これらの画面例で学習者に与えられている文章題は次の単体変化問題である。

【太郎くんはテープをもっています。3m使いました。すると2m残りました。はじめは何mありましたか。】

図4は、この問題に対して学習者が何も手を付けていないことを学習者制御モジュールが認識し、単語レベルの数学的意味に気づかせようとしている場面である。そのため、文章題全体の因果関係を図で示し、対象の認識、状態の認識、作用の認識、作用の数量の認識、立式の流れの順に学習支援を行おうとしているところである。図5は、文章題の順番に従って、その内容を図示し、初期状態の数量が未知である場合の立式の知識を学習者が獲得しているかどうかを確認しているところである。この場合は図で問題を表現しているので、ヒントを与えていることになる。この場面では、学習者がこの図から初期状態の数量を求めるために、矢印の方向を逆にすることが逆演算子を使うことに対応すると気づくことが期待されている。

アニメーションの場合は、図6に示すように、表1

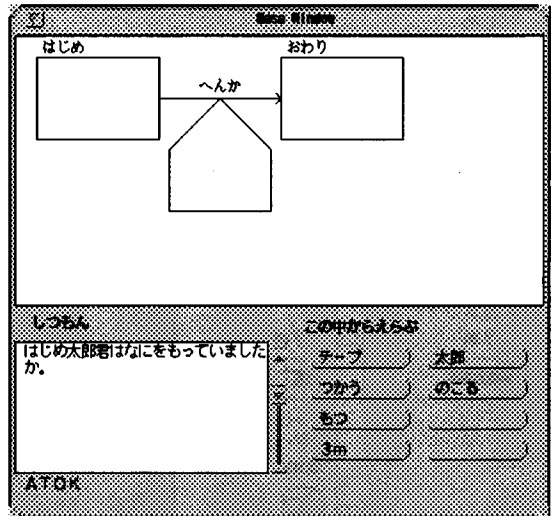


図4 質問画面の例1  
Fig. 4 Question scene 1.

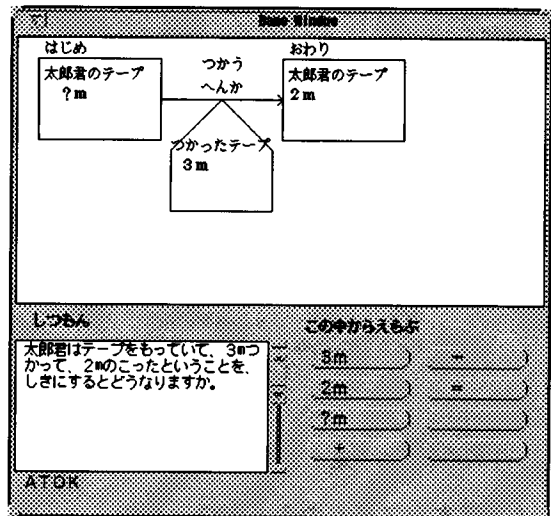
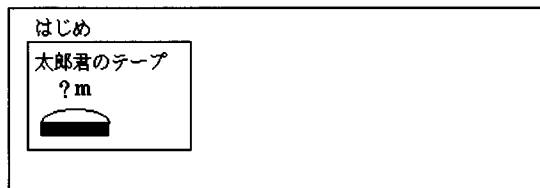


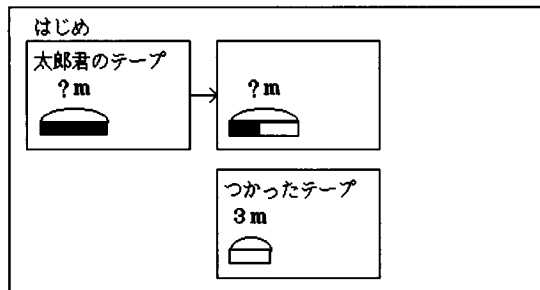
図5 質問画面の例2  
Fig. 5 Question scene 2.

の図表現部品のフレームワークの内部で実体の形状を表す図表現部品を数量に従って変化させることによって実現する。アニメーションと同期して、対応する文章を音声とテキストで表示する。

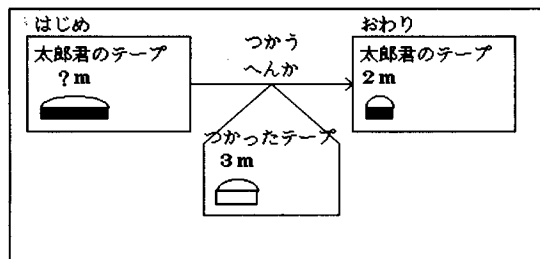
- 学習制御モジュールの主な機能は次のとおりである。
- ・学習者モデルを更新し、維持する。
  - ・立式モジュールに学習者の理解度に基づいた問題の難易度と、因果タイプを指示する。



ナレーション：太郎君はテープを何メートルもっています。



ナレーション：テープを3メートル使うと、



ナレーション：太郎君のテープが2メートル残りました。

図6 アニメーション画面の抜粋  
Fig. 6 Excerpts of animation scene.

・学習の終了の判定をする。

#### 4. 基本システムのネットワーク化

基本システムの機能をネットワーク上の計算機で利用するためには、その構成要素をどのようにクライアントとサーバに分散するかが重要となり、これはネットワークの利用目的に応じて異なる。ここでは、教材知識を生成するサーバマシンに対して、任意のクライアントマシンから任意の学習者が個別に支援を受けられることを想定している。そして、教材は1元的に管理し、教材と学習者の理解度の関係や学習者の進捗状況などを保存できるようにする。そこで、次の(1)~(4)を考慮し、図7に示すようなデータと機能の分散方式を採用してシステムを試作した。

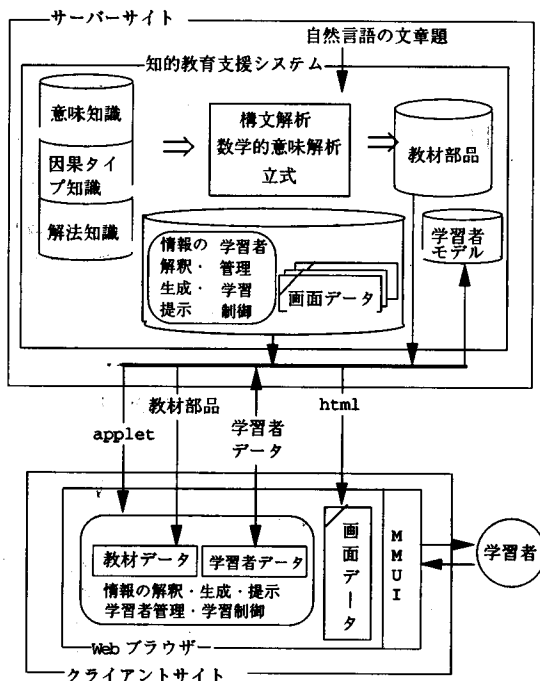


図7 算数文章題のネットワーク型的教育支援環境  
Fig. 7 Network type intelligent educational environment for arithmetic word problems.

(1) サーバとクライアント間の通信の頻度と量を最小限に抑えること

教材部品は、一つの文章題ごとに、サーバからクライアントに送られる。学習者モデルはクライアント側で管理し、そのデータの送受は環境の利用開始と終了時のみとする。

(2) クライアントにおいて学習支援のタイムラグを抑制すること

学習制御モジュールと支援情報の生成・解釈・提示モジュールは一つのモジュールとしてクライアント側がもつ。そして、教材部品と学習者モデルはそのモジュールの内部データとして保持する。

(3) 任意の時点で、学習者に質問できること

学習者の入力操作を処理するプロセスとは独立に学習者制御処理を行う。

(4) 任意の時点で学習者は支援を求められること

学習者の質問操作を監視するプロセスを用意する。

図7において、画面データはhtmlテキストで、情報の解釈・生成・提示/学習者管理/学習制御はappletとして、サーバサイトにあらかじめ用意されている。また、提供される画面データが複数用意されているのは、



利用される Web ブラウザが違うと同じ html でも見え方が異なるので、個々の学習者が選択できるようにするためである。まず、学習者は Web ブラウザにより本支援環境に入り、学習者 ID と希望する学習項目を選択する。このためのインタフェースは applet により提供され、この applet によりサーバから必要な教材部品とその学習者の個人データ（学習者モデル）が取り寄せられることで学習が始まる。また、この applet はスレッド機能を利用して、学習者モデルの管理、モニタを行う。更に、2.3 で述べた学習者からの質問を任意の時点で受け付けるためのスレッド、および学習者への任意の時点での支援を行うためのスレッドを実行する。このように、学習支援環境は主に、applet により実現されるが、学習者は任意の時点で cgi を通じて画面の切替えもできる。

## 5. むすび

本論文では、算数の文章題の知的教育システムに必要な機能を分析し、文章題とその素性構造を入力して、問題解決とその支援に必要な知識を生成する方法、およびそれを用いてアニメーションを行う方法を提案した。また、ネットワーク上に支援環境を実現するための方式について述べた。本環境の特徴は、ネットワーク上の計算機において、システムと学習者の間の質問応答、文章題の因果タイプと学習者の理解状況に応じたアニメーションによる説明機能を実現していることである。本研究の新規性は、このような視覚的手段を用いた説明・理解支援という観点から文章題を分類し、人間と同じように問題解決を行う知識を生成し、それを用いて学習者を支援する方法を提案したこと、およびネットワーク上の計算機にそのような知的支援環境を実現するためのシステム構成について提案した点にある。

現在、既に作成した基本システムのプロトタイプを基に、4. で述べたネットワーク化の方式から算数の文章題の理解支援環境を提供するシステムを試作している。今後、試作システムの評価を行い各種モジュールの洗練を行う。一方、applet の特徴の一つであるそのセキュリティの高さから、現状のシステムではクライアント側のエージェントはファイル操作ができないという問題が残されたままである。そのため、クライアント側の applet プログラムがその内部データとして学習者モデルを保持せざるを得ず、クライアントマシンのハード資源を圧迫する原因となっている。

この研究に関連する興味ある今後の課題は、前章で述べたサーバ側の教材部品を再利用して類題を生成する機能や、グループ学習において他の学習者の誤りからその間違いに気づく視点を学習者に獲得させる機能を実現することである。また、グループ学習では、学習者を支援する複数のエージェントを想定している [14]。あるエージェントが支援を必要とする学習者を認識したらグループ内の他のエージェントと交渉することで理解できている学習者を探し、その学習者に対して理解できていない学習者の手助けを依頼するといったグループ内における学習者モデルの相互参照機能も組み込む必要がある。そのために、今後は本論文で提案したシステムの拡張について検討していく予定である。

謝辞 基本システムを試作して頂いた、九州工業大学情報工学部知能情報工科大学院学生、柿永健司君と柘谷直希君に感謝します。なお本研究の一部は、文部省科学研究費補助金基盤研究 A (1) (課題番号 0868 0406)、および平成 8 年度電気通信フロンティア研究に関する委託研究費によっている。

## 文 献

- [1] J.M. Paige and H. A. Simon, "Cognitive processes in solving algebra word problems," in *Problem Solving*, ed. B. Kleinmuntz, Wiley, New York, 1966.
- [2] J. R. Hayes and H. A. Simon, "Understanding written problem instructions," in *Knowledge and Cognition*, ed. L. W. Gregg, Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1974.
- [3] D. Hinsley, J. R. Hayes, and H. A. Simon, "From words to equations: Meaning and representation in algebra word problems," in *Cognitive processes in comprehension*, eds. P.A. Carpenter and M.A. Just, Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1977.
- [4] P. Neshet, J. G. Greeno, and M. S. Riley, "The development of semantic categories for addition and subtraction," *Experimental Studies in Mathematics*, vol.13, pp.373-394, 1982.
- [5] M. A. D. Wolters, "The part-whole schema and arithmetic problems," *Educational Studies in Mathematics*, vol.2, pp.127-138, 1983.
- [6] W. Kintsch and J. G. Greeno, "Understanding and solving word arithmetic problems," *Psychological Review*, vol.92, pp.109-129, 1985.
- [7] W. Kintsch and T. A. van Dijk, "Toward a model of text comprehension and production," *Psychological Review*, vol.85, pp.363-394, 1978.
- [8] 桜井成一郎, 志村正道, "算術問題解答システムにおける学習," *人工知能学会誌*, vol.2, no.1, pp.100-106, 1987.
- [9] D. G. Bobrow, "Natural-Language input for a computer problem-solving system," in *Semantic information processing*, ed. M. Minsky, MIT Press, Cambridge, MA, 1968.
- [10] 郡司隆男, "言語構造と単一化," *情報処理*, vol.32, no.10, pp.1059-1069, 1991.

- [11] "The Java Language Specification." Version 1.0 Beta, Sun Microsystems Computer Co., 1995.
- [12] 橋本純次, 細川藤次, "新訂算数," 啓林館, 1987.
- [13] 新井政義編, "小学2年算数文章題100点ドリル," 旺文社ほか5冊.
- [14] 中村 学, 竹内 章, 大槻説乎, "グループ学習支援の構成と実現法に関する研究," 人工知能学会研究会資料, SIG-IES-9601, pp.41-48.

(平成8年9月4日受付, 11月25日再受付)



岩根 典之 (正員)

1983広島大・総合科学卒. 1986同大大学院環境科学研究科修士課程了. 同年沖電気工業(株)入社. 1994より広島市立大学情報科学部助手. 知識情報処理の研究に従事. 情報処理学会, 人工知能学会各会員.



竹内 章 (正員)

1976九大・工・造船学科卒. 1978同大大学院修士課程了. 九州大学工学部助手, 講師を経て, 1989年九州工業大学情報工学部助教授, 1995同教授. 工博. 知的教育システム, ヒューマンマシンインタフェースなどの研究に従事. 人工知能学会, 情報処理学会, 教育システム情報学会, 日本認知科学会, AAAI各会員. 人工知能学会平成7年度研究奨励賞, 1993 ICCE "BEST PAPER AWARD" 受賞.



大槻 説乎 (正員)

1955京大・理卒. 京都大学助手, 名古屋大学助手, 九州大学助教授, 九州工業大学教授を経て現在広島市立大学教授. 工博. 教育情報工学, 知識情報処理, 知的マルチメディア情報処理などの研究に従事. 現在, 本学会会員, 教育システム情報学会会長, 人工知能学会評議員, 情報処理学会・教育工学会各会員. 1989山内記念会業績賞, 情報処理学会平3年度研究賞, 人工知能学会平4年度および平7年度研究奨励賞, 1993 ICCE "BEST PAPER AWARD" 受賞.