

## 常識知識を用いた算数問題解決システムの構築

松山 剛† 渡部 広一‡ 河岡 司‡

†同志社大学大学院工学研究科 〒610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3

E-mail: †dtf0729@mail4.doshisha.ac.jp, ‡hwatabe, tkawaoka@mail.doshisha.ac.jp

コンピュータによる円滑な会話を実現するためには、人間が持つ常識的な知識や、社会生活を営むための文化に関する国語や算数などの教養知識からなる常識知識を用いて、文章を理解することが必要になる。日常会話の中には数量を含む文章や演算が必要な文章があり、人間は常識知識を用いて言葉の意味、文脈、数量の論理関係の判断を行うことにより文章を理解している。そこで、数量を含む文章の代表的なものとして、演算が必要な算数に関する文章である算数問題に着目し、その解決を目指す。そして、辞書や常識知識を用いて、自然言語文章から対象とする問題を判定し、正しく判定された問題に関しては解答を求める算数問題解決システムを構築する。

## Constructing Arithmetic Problem Solution System Using Commonsense Knowledge

Gou MATSUYAMA† Hirokazu WATABE‡ Tsukasa KAWAOKA‡

† Graduate School of Engineering, Doshisha University

1-3 Miyakodani Tatara Kyotanabe-shi, Kyoto, 610-0394 Japan

E-mail: †dtf0729@mail4.doshisha.ac.jp, ‡hwatabe, tkawaoka@mail.doshisha.ac.jp

There are sentences including the word about quantity and sentences which needs calculations in the daily conversation. We humans understand the sentences by judging meaning of the word, the context and logical relation of the amount with "Commonsense Knowledge." We focus on "arithmetic problem" which is typically including the word which means an amount. And the problem needs an calculations, too. We construct Solution System in Arithmetic Problem using "Commonsense Knowledge." This system is able to judge "arithmetic problem" from natural language sentences, and answers the problem judged from those sentences correctly by using dictionaries and "Commonsense Knowledge."

### 1 はじめに

近年のコンピュータの発展は目覚しく、今後は人間の要求や意図を理解した双方向の会話の実現が期待される。より円滑な会話の実現には、人間が持つ常識的な知識や、社会生活を営むための文化に関する国語や算数などの教養知識、つまり常識知識の理解が必要になる。日常会話の中には数量を含むものがある。人間は常識知識を用いて言葉の意味、文と文の論理関係である文脈、文章から導ける数量の論理関係の判断を行い、数量を含む会話を行っている。

本稿では、数量を含む文章の代表的なものとして、「1個40円の蜜柑を4個買った。さらに1本30円のバナナを5本買った。果物の代金は全部でいくらかになるか?」のような、演算が必要な算数に関する文章である算数問題に着目する。辞書や常識知識を用い、自然言語文章から対象とする問題を判定し、正しく判定された問題に関しては解答を求める「算数問題解決システム」を構築し、その有効性を示す。

### 2 算数問題解決システム

#### 2.1 算数問題の解決

算数問題の解決のイメージを図1に示す。辞書や常識知識を用いて、「日本でお酒が飲める年齢は何歳か?」のような算数問題とは関係のない文章も含む自然言語文章から、算数問題を判定する。算数問題であると正しく判定されたものに関しては、解答を求めるために必要となる情報を整理した形式的な表現に直す。ここまでの流れを「算数問題の意味解釈」

と定義する。そして、常識知識の1つである算数の公式などを用いて解答を求める部分を含めた全体の流れを「算数問題の解決」と定義する。

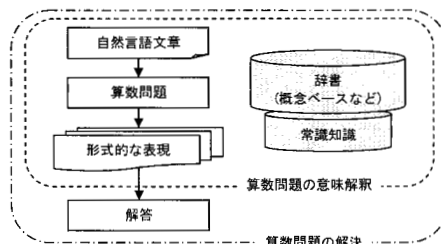


図1 算数問題の解決のイメージ

算数問題を解決する際に、言葉の意味、文脈、数量の論理関係の判断を行う。例えば「1個40円の甘い蜜柑を3個買った。八百屋で1本30円のバナナを4本買った。文房具屋で1本20円の鉛筆を2本買った。果物は全部で何円になるか?」という文章を考える。具体的には「蜜柑とバナナは果物」という言葉の意味、「果物の値段が問われており、鉛筆に関する情報は演算に不必要」という文脈、「 $40 \times 3 + 30 \times 4$ 」という数量の論理関係、これらの判断を行うことにより解答「240(円)」を求め、問題の解決を行う。

#### 2.2 算数問題の定義

本稿では、算数問題の定義を次のように行う。

##### 1. 文章が単文で構成されている

・「林檎が3個ある。蜜柑が5個ある。果物は全部

- で何個あるか？」 ○
- ・「林檎が3個、蜜柑が5個ある時、果物は全部で何個あるか？」 ×
2. 文章中に数量を表す語が含まれる
- ・「昨日、算数の本を買った。算数の本の値段はいくらであったか？」 ×
3. 質問文が1つあり、ある概念の数量について質問されている
- ・「林檎が10個ある。1人に林檎を3個配る。林檎は何人に配れるか？また、林檎は何個余るか？」 ×
- 文章は大きく複文と単文に分けることができるが、より基本的な表現から対応させることを考慮し、単文で構成されているものを対象とする。

### 2.3 算数問題の分類

- 本稿では、算数問題の分類を次のように行う。
- ・ **一般問題** (小学校1~4年生の加減算, 乗除算, 四則混合算)
    - ・「林檎が3個ある。蜜柑が5個ある。果物は全部で何個あるか？」 (加減算)
    - ・「1個75円のケーキを8個買う。ケーキの代金はいくらか？」 (乗除算)
    - ・「1個40円の蜜柑を4個買った。さらに1本30円のバナナを5本買った。果物の代金は全部でいくらになるか？」 (四則混合算)
  - ・ **特殊問題** (数列, N進数算など, 問題文の表現が特殊で, ある程度定式化されたもの)
    - ・「4, 7, 10, 13, 16...という数列がある。第50項はいくつか？」 (数列算)
    - ・「2進法の110011は10進法ではいくつになるか？」 (N進数算)
- 一般問題は小学校の教科書や参考書から, 特殊問題はSPI (Synthetic Personality Inventory) の参考書から収集し, 複文の表現を含むものは手作業で単文に直した。本稿ではこれらの問題を対象とする。

### 2.4 算数問題解決システムの構成

「算数問題解決システム」の構成を図2に示す。

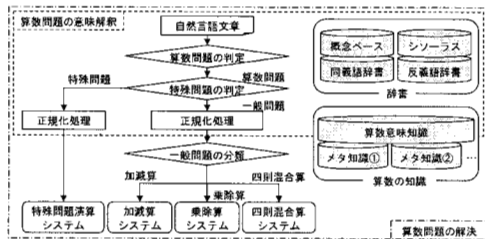


図2 算数問題解決システムの構成

このシステムは、自然言語文章から対象とする問題を判定する「算数問題の判定」、特殊問題である数列算, N進数算を判定する「特殊問題の判定」、問題文から必要な情報を抽出し, 形式的に表現する「正規化処理」、得られた形式的な表現をもとに加減, 乗除, 四則混合算の問題を判定する「一般問題の分類」、分類された問題の解答を求める「各演算システム」で構成される。本システムの各処理では, 概念ベース<sup>[1]</sup><sup>[2]</sup>, 関連度計算<sup>[3]</sup>, 未知語処理, シソーラス<sup>[4]</sup>,

同義語・反義語辞書, 質問文意味理解システム<sup>[5]</sup>, 意味理解システム<sup>[6]</sup>といった関連技術, また算数意味知識・メタ知識で構成される算数の知識 (常識知識の1つ) を用いている。算数の意味知識は, 算数問題を判定するための知識や, 文法・単位など多くの算数問題に共通する知識, 算数メタ知識は, 数列算やN進数算などで用いる公式のように, 解答を求めるために必要な知識と定義する。関連技術については3章で述べ, その後各処理について詳しく述べる。

## 3 関連技術

### 3.1 概念ベース

ある語  $A$  をその語と関連の強いと考えられる語  $a_i$  と重み  $w_i$  の対の集合として定義する。

$$A = \{(a_1, w_1), (a_2, w_2), \dots, (a_m, w_m)\}$$

$a_i$  を1次属性と呼ぶ。また便宜上,  $A$  を概念表記と呼ぶ。このような属性の定義された語 (概念) を大量に集めたものを概念ベース (87242語) と呼ぶ。ただし, 任意の1次属性  $a_i$  は, その概念ベース中の概念表記の集合に含まれているものとする。すなわち, 属性を表す語もまた概念として定義されている。したがって, 1次属性は必ずある概念表記に一致するので, さらにその1次属性を抽出することができる。これを2次属性と呼ぶ。概念ベースにおいて, 「概念」は  $n$  次までの属性の連鎖集合により定義されている。

### 3.2 関連度計算

関連度とは, 定義された知識の関連しか特定できない意味ネットワークのようなものとは違い, 任意の概念と概念の関連の強さを定量的に評価するものである。具体的には概念連鎖により概念を2次属性まで展開したところで, 最も対応の良い1次属性同士を対応付け, それらの一致する属性個数を評価することにより, 関連の強さを定量化するものである。関連度は, 概念間の関連の強さを0と1の間の実数値で表す。表1に例を示す。

表1 関連度計算の例

| 概念A | 概念B | 概念Aと概念Bの関連度 |
|-----|-----|-------------|
| 自動車 | 車   | 0.919       |
| 自動車 | 馬   | 0.031       |

### 3.3 未知語処理

算数問題解決システムの各処理では様々な知識ベースを用いるが, 知識ベースには代表的な語のみ格納している。しかし, 問題文に出現する語の種類や表現は様々であるため, 問題文に用いられる語で知識ベースにない語については未知語として扱い, 概念ベース (3.1節) や関連度計算 (3.2節) を用いて, 代表語の中で最も関連が強いものに置換する処理を行う。この処理を未知語処理 (図3) と呼ぶ。

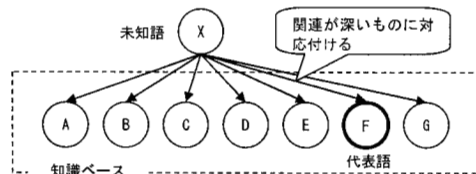


図3 未知語処理のイメージ

この処理により少量の知識から様々な語に対応することを実現している。

### 3.4 シソーラス

シソーラスとは、一般名詞の意味的用法を表す 2710 個の意味属性（ノード）の、上位-下位関係、全体-部分関係が木構造で示されたものである。ノードに属する名詞として約 13 万語（リーフ）が登録されている。図 4 に例を示す。

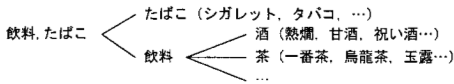


図 4 シソーラス

### 3.5 同義語辞書・反義語辞書

これは、同義と考えられるもの約 20 万組、反語の関係にあるもの約 1 万 7 千組を格納したものである。

### 3.6 質問文意味理解システム

質問文が何を求め、そこにどのような条件が含まれているかを知ることができれば、質問文の内容を理解できたとと言える。質問文意味理解システムに質問文を入力すると、質問対象語（質問文が求めている対象）とその尺度（質問対象語「価格」の場合は尺度「通貨の価値」など）、その条件（質問対象語にかかっている条件）を抽出することができる。例えば、「昨日買った林檎は何個あるか？」という質問文を入力すると、質問対象語は「個数」で、尺度は「数量」、条件は「昨日買った」となる。

### 3.7 意味理解システム

意味理解システムとは、単文入力に対して[主体]、[何]、[時間]、[場所]、[方法]、[理由]、[誰に]、[用言]という 8 個の成分で構成される意味フレーム（図 5）に分けることができるシステムである。

「昨日（本棚）に（1冊 260gの本が）（20冊あった）」

| 主体        | 何 | 時間 | 場所 | 方法 | 理由 | 誰に | 用言    |
|-----------|---|----|----|----|----|----|-------|
| 1冊 260gの本 |   | 昨日 | 本棚 |    |    |    | 20冊ある |

図 5 意味フレームの例

このように、入力文を意味フレームという一定の形式に変換することで、文型を限定しない形式での入力に対応することができるようになる。

## 4 算数問題の判定

算数問題の判定の流れを図 6 に示す。

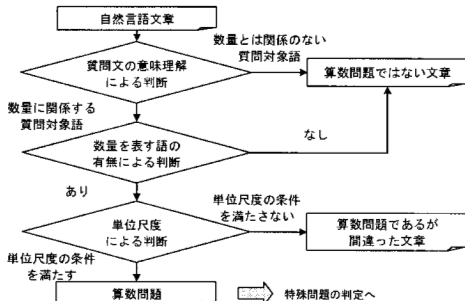


図 6 算数問題の判定の流れ

入力される自然言語文章は算数に関する文章のみとは限らない。そこで、入力された自然言語文章が算数に関する文章であるかどうかを質問文の意味理解によって判断し、さらに単位などのチェックを行うことにより算数問題として適切であるかどうかの判断を行う。

### 4.1 質問文の意味理解による判断

入力文中の質問文の内容に着目し、算数問題ではない文章かどうかの判断を行う。判断の際に、関連技術である 3.6 節で述べた質問文意味理解システムを用いており、この判断では、主に質問対象語と尺度に着目する。判断方法を以下に述べる。

まず、入力文中の質問文に着目し、質問文意味理解システムにより得られた質問対象語が、「長さ」、「質量」（尺度はそれぞれ「数量」）などの、数量に関係するものである場合は、数量についての質問であると考えられるので、この段階では算数問題であると判断し、次の数量を表す語の有無による判断を行う。質問対象語が、「人物」、「場所」などの数量に関係しないものである場合は、数量とは関係のない質問であると考えられ、これは 2.2 節で述べた算数問題の定義を満たさないため、算数問題ではない文章であると判断する。判断例を以下に示す。

- ・「国語の本の値段は何円か？」→質問対象語「値段」  
質問対象語「値段」は数量に関係するので、この質問文を含む文章はここでは算数問題と判断する。
- ・「果物はどこで買ったか？」→質問対象語「場所」  
質問対象語「場所」は数量に関係しないので、この文章は、算数問題ではない文章と判断する。

### 4.2 数量を表す語の有無による判断

入力文中に「3 個」、「100 円」などの数量を表す語が含まれるかどうかを調べ、算数問題ではない文章かどうかの判断を行う。判断例を以下に示す。

- ・「昨日、算数の本を買った。算数の本の値段はいくらであったか？」→数量を表す語「なし」  
数量についての質問であるが、入力文中に数量を表す語が 1 つも含まれないので、算数問題ではない文章と判断する。
- ・「林檎が 3 個ある。蜜柑が 5 個ある。果物は全部で何個あるか？」→数量を表す語「あり」  
数量についての質問であり、入力文中に数量を表す語「3 個」、「5 個」が含まれるので、算数問題に関する文章と判断する。

### 4.3 単位尺度による判断

4.1 節、4.2 節で述べた判断により、入力文は数量についての質問を含み、かつ数量を表す語を含む文章であると考えられる。ここで、「1.5kg は何 m か？」（数量を表す語「あり」）という文を考える。これは数量についての質問であり、入力文中に数量を表す語が含まれるので、算数問題であると判断される。しかし、「尺度の異なる単位の変換」に関する質問であり、算数問題として適切であるとは言えない。このように、判断に「単位の知識」を必要とする入力文に関しては、単位尺度による判断を行う必要がある。ここでは、単位・単位尺度の観点から、入力文

が算数問題として適切かどうかの判断を行う。判断知識として、以下に述べる「単位尺度の知識」や「単位尺度の関連の知識」を用いている。

#### 単位尺度の知識

「m (メートル)」は「長さ」の単位、「g (グラム)」は「質量」の単位というように、あらゆる単位は尺度ごとに分類することができる。それぞれの単位を尺度ごとに分類、整理したものである「単位尺度の知識」を作成した(表2)。単位尺度は「長さ」、「質量」、「時間」など計19種、単位は計441種である。また、単位は日本語表記・英語表記が登録してある。

表2 単位尺度の知識 (一部)

| 単位尺度 | 分類     | 単位 (日本語表記)      | 単位           |
|------|--------|-----------------|--------------|
| 質量   | —      | グラム、キログラム、…     | g, kg, mg, … |
| 長さ①  | メートル   | メートル、キログラムメートル、 | m, km, mm, … |
| 長さ②  | 海里     | 海里              | —            |
| 数量①  | 器具・道具類 | 台、本、個、枚、…       | —            |
| 数量②  | 飲食類    | 玉、丁、本、席、…       | —            |

分類の項目は、単位が用いられる分野の情報を示している。「本」のように複数の分類にまたがる単位は存在するが、複数の単位尺度にまたがる単位は存在しない。この知識により、入力文中に含まれる単位の単位尺度を調べることが可能になる。

#### 単位尺度の関連の知識

次のような例を考える。

- ・「食塩 60gを 180gの水に溶かす。何%の食塩水ができるか？」

この例では、質問部分で問われている単位「% (尺度:濃度)」の尺度と同じ尺度である単位を含む語が、質問部分以外に存在しないが、解答を求めることができる。よって、「g (尺度:質量)」と「% (尺度:濃度)」には単位尺度の関連があると考えられる。この単位尺度の関連をまとめたものである「単位尺度の関連の知識」を作成した。単位尺度の関連は他に「長さ、時間、速さ」、「長さ、面積」などがあり、「長さ/時間/速さ」、「長さ/面積」という形式で、計10パターン登録してある。

以上のことを踏まえて、これらの判断知識を用いた判断方法を以下に述べる。

#### 1. 質問部分の単位の尺度と同じ尺度の単位を含む語が、他に少なくとも1つ存在する

- ・「1個 40円の蜜柑を4個買った。また1本 30円のパナナを5本買った。果物は何円になるか？」  
(単位「円」が2つ存在する)

#### 2. 入力文中に存在するそれぞれの単位の尺度が、単位尺度の関連を満たしている

- ・「食塩 60gを 180gの水に溶かす。何%の食塩水ができるか？」

(単位尺度の関連「質量、濃度」を満たしている)

1.2のいずれの条件も満たさないものに関しては、算数問題であるが間違った文章と判断する。また、この段階で、数量を含むが単位を含まないような文章に関しては、単位尺度による判断を行わずに、算数問題として判断させる。これは、数列算やN進数算などの問題によく見られるという傾向がある。これらの問題の判断は5章の特殊問題の判定で述べる。

## 4.4 評価

算数に関する文章、または算数とは関係のない文章である自然言語文章、計158文に対して、算数問題の判定の評価を行った。この158文の評価データは、算数の教科書から収集した文章、協力者24名が手作業で作成した文章で構成されている。評価は、入力文である文章が「算数問題ではない文章」、「算数問題であるが間違った文章」、「算数問題」のいずれかに正しく分類された場合は「○」、正しく分類されなかった場合は「×」とする。評価結果を図7に示す。円グラフは全体の評価結果、棒グラフはその内訳である。

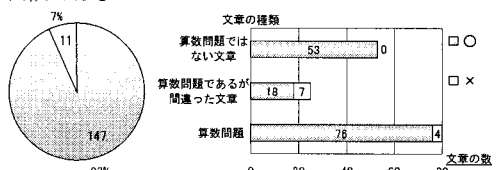


図7 算数問題の判定の評価

全体で約93%の精度を得ることができた。算数問題ではない文章、算数問題であるが間違った文章、算数問題の精度はそれぞれ100%、72%、95%となった。算数問題ではない文章、算数問題に関しては、ほぼ正しく判定されたとと言える。

## 5 特殊問題の判定

算数問題は様々な表現で構成されるが、2.3節で述べた数列算やN進数算などの特殊問題は一般問題とは異なり、特徴的な表現が多いという傾向がある。数列算では「3, 7, 11, 15, …」、N進数算では「1101001」のような数字の羅列部分や、「数列」、「進数・進法」のような問題の種類を特徴付ける語などがその例である。6章で述べる正規化を行いやすくするために、ここではそのような特徴的な表現が多い特殊問題を判定する。判断知識として、「特殊問題判定の知識」を用いる。これは現在、数列算、N進数算を判定するために必要となる「数列」、「公差」、「進数」など計12語が登録してある。算数問題と判定された問題に対して、その問題文中に数字の羅列部分や特殊問題判定知識の語が含まれる場合は、特殊問題(数列算 or N進数算)であると判断する。

## 6 正規化

算数問題の解答を求めるためには、正しく判定された算数問題から演算に必要な情報を抽出する必要がある。解答を求めるための演算に必要な問題文中の様々な情報を「整理した形式的な表現に直すこと」を算数問題における正規化、整理した形式的な表現を正規化表現と定義する。そして、言葉の意味、文法、文脈を理解することができるような正規化表現を考案する。関連技術として、3章で述べた未知語処理(概念ベース、関連度計算)、ソーラス、意味理解システムを用い、判断知識として単位知識ベースを用いている。

### 6.1 単位知識ベース

単位は、実体のある「もの」を特定の尺度で測る

ための基準であるが、常識的に「もの」が持つ単位は「もの」により様々である。例えば、ジュースは「本」という単位で数え、体積は一般的に「ℓ（リットル）」という単位で量る。そこで、「もの」が持つ単位を格納したものである「単位知識ベース」を作成した（図8）。単位知識ベースの構築にあたり、シソーラスの木構造を用いる。上位ノードから順に、単位を持つ名詞に各尺度の単位を与える。下位ノードは上位ノードの単位を継承することができるので、上位ノードにない単位を与える。単位情報を持つノードを「分類語」と呼び、計305語ある。また、リーフから上位ノードと異なる単位（その語に固有の単位）をもつ語を中心に「代表語」として選び出し、同様に単位を与える。『代表語』は計124語ある。

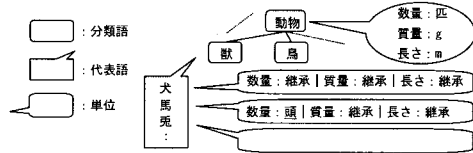


図8 単位知識ベースのイメージ

## 6.2 正規化表現

正規化表現の項目の定義、正規化表現の取得の規則、取得方法を述べる。

### 正規化表現の項目の定義

正規化表現の項目を図9のように定義する。

| 演算対象語 | 修飾語と明示語 |     |     |     | 数量 | 用言 |
|-------|---------|-----|-----|-----|----|----|
|       | 連体修飾語   | 時間語 | 場所語 | ... |    |    |
|       |         |     |     |     |    |    |

図9 正規化表現の項目 1つのみ

演算の対象となる概念である[演算対象語]、演算対象語を修飾する語である[連体修飾語]、[時間語]、[場所語]など、演算対象語の数量に関する情報である[数量]、そして、演算対象語が存在する文中の動詞や形容詞などの情報である[用言]、主にこれらの項目で正規化表現を定義する。また、図9の修飾語と明示語の中の「…」には主に明示語を格納する。明示語とは、問題文中にある情報の中で、以下のような語であると定義し、「明示語の知識」を作成する。

- 規則3.に関する正規化表現の各項目を取得する際の手掛かりとなる語（複数明示語）  
→「みんな」、「全部」、「より」などの『合計』や『比較』を表現する語。計6語。
- 正規化表現の関係付けを行う際の手掛かりとなる語（乗除明示語）  
→乗除算の演算で必要となる『比の関係』を表現する語。現在は「ずつ」の1語のみ。
- 演算を行う際の手掛かりとなるもの（演算明示語、変化明示語）  
→「合わせて」、「残る」などの『質問文に存在し、加減算のどちらの演算であるか』を示唆する語（演算明示語）。計12語。変化明示語に関しては8.1節で述べる。

### 正規化表現の取得の規則

- 「演算対象語=数量」の関係になるようにする（数量は必ず1つ）

- 基本的に演算対象語は1つ
- 演算対象語が1つに切り離せない場合は、複数の演算対象語の関係を取り出す

※正規化表現の関連が強いと思われるものに関しては、「関係付け」を行う

「関係付け」とは、ある2つの正規化表現が、乗除算の演算で必要となる比の関係（ $A1:A2=B1:B2$ ）のペア（ $A1:A2$  など）であるという情報を持たせておくことである。

### 正規化表現の取得方法

- 問題文を一文ずつ意味理解システムにかけ、意味フレームの成分に分ける
- 「明示語の知識」を参照し、意味フレームの各成分に格納された情報の中から各明示語を取得する
- 数量に着目し、数量とその単位を調べる  
(例:「12枚」→数量「12枚」、単位「枚」)  
※数量1つにつき、1つの正規化表現を取得する(規則1.より)
- [主体]、[何]、[方法]、[理由]、[用言]の各成分中の具体物である名詞を演算対象語の候補とし、持ちうる単位を単位知識ベースより調べる  
(例:「色紙」→「数量:枚|質量:g|長さ:m」)  
※各成分中の名詞がシソーラスに存在しない場合は未知語処理を行い、単位知識ベースの「代表語」、「分類語」の最も関連が高い語に置換する。
- 4.で調べた単位が3.の単位と一致したものを演算対象語とする
- 各修飾語（「連体修飾語」、「時間語」、「場所語」など）を取得する

演算対象語が1つの場合（図10）、演算対象語が1つに切り離せない場合（図11）、関係付けを行う場合（図12）の正規化表現の取得例を以下に示す。

### 演算対象語が1つの場合

例)「赤い色紙を昨日12枚使った。」

| 主体     | 何 | 時間   | 場所 | 方法 | 理由 | 誰に | 用言      |
|--------|---|------|----|----|----|----|---------|
| (赤い色紙) |   | (昨日) |    |    |    |    | (12枚使う) |

| 演算対象語 | 修飾語と明示語 |     |     |     | 数量  | 用言 |
|-------|---------|-----|-----|-----|-----|----|
|       | 連体修飾語   | 時間語 | 場所語 | ... |     |    |
| 色紙    | 赤い      | 昨日  |     |     | 12枚 | 使う |

図10 正規化表現の取得例①

### 演算対象語が1つに切り離せない場合

例)「林檎と蜜柑が全部で30個ある。(←『合計』の表現)」

| 主体      | 何 | 時間 | 場所 | 方法   | 理由 | 誰に | 用言      |
|---------|---|----|----|------|----|----|---------|
| (林檎&蜜柑) |   |    |    | (全部) |    |    | (30個ある) |

| 演算対象語 | 修飾語と明示語 |     |     |     | 数量  | 用言 |
|-------|---------|-----|-----|-----|-----|----|
|       | 連体修飾語   | 時間語 | 場所語 | ... |     |    |
| 林檎、蜜柑 |         |     |     | 全部  | 30個 | ある |

図11 正規化表現の取得例②

[方法]にある複数明示語「全部」より、[主体]の「林檎と蜜柑」という情報を、正規化表現の[演算対象語]に「林檎、蜜柑」という表現で格納する。これにより、「林檎+蜜柑=30個」という情報を持たせておく。また、演算対象語が1つに切り離せない例として、『合計』の表現以外に、『比較』の表現（例:「林檎は蜜柑より9個多い。」など）がある。

## 関係付けを行う場合

例) 「1冊 260gの本が 20冊ある。」

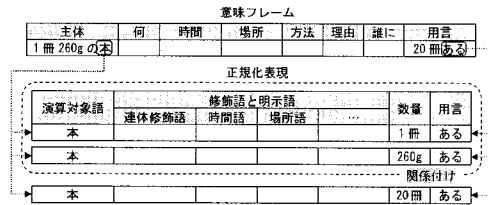


図 12 正規化表現の取得例③

これは、規則 1.の「演算対象語＝数量」の関係になるようにする(数量は必ず 1つ)より、一文から 3つの正規化表現が取得できる例である。[主体]にある「1冊 260gの本」のように、意味フレームの同じ成分内にある数量は関係が強いと考えられ、点線で囲まれた部分のような関係付けを行う。他にも「ずつ」という乗除算を示唆する語を含む場合に同様の関係付けを行う。

## 7 一般問題の分類

6章で述べた正規化により取得した正規化表現から、一般問題(2.3節)のいずれの問題であるかを判断し分類する。その際、正規化表現の演算対象語同士の意味的な関係を調べ、解答を求めるための演算に必要な正規化表現の判断を行っている。そこで、意味的關係の調べ方、一般問題の分類の流れの順に説明する。

### 7.1 意味的關係の調べ方

正規化表現の演算対象語同士の意味的關係を調べる際に、判断知識として同義語・反義語辞書(3.5節)を用いる。意味的關係の調べ方を以下に示す。一方の正規化表現の演算対象語を「演対①」、他方の正規化表現の演算対象語を「演対②」とする。

1. 表記が一致すれば同じ意味とする  
(例: 演対①「林檎」、演対②「林檎」→同じ意味)
2. シソーラスの親ノードの一致は同じ意味とする  
(例: 演対①「林檎」、演対②「果物」→「林檎」の親ノードに「果物」があるので同じ意味とする)
3. 演対①と演対②の属性を概念ベースから取得し(それぞれの属性を属性①、属性②とする)、属性①の中に演対②が含まれる、または属性②の中に演対①が含まれる場合は同じ意味とする  
(例: 演対①「女の子」、属性①「子供、女、…」、演対②「子供」→属性①の中に演対②「子供」が含まれるので、演対①と演対②は同じ意味とする)

### 7.2 一般問題の分類の流れ

一般問題の分類の流れを図 13 に示す。一般問題の分類は 3つの判断から構成される。判断①～③では、共に質問部分の正規化表現の演算対象語を判断の基点にして、その他の正規化表現を調べる。7.1節で述べた方法で、質問部分の正規化表現の演算対象語と意味的に同じではない演算対象語、または異なる修飾語を持つ正規化表現は、演算には関係のない正規化表現であるとみなす。また、判断③の同じ関係については、乗除算の問題分類の例にて述べる。

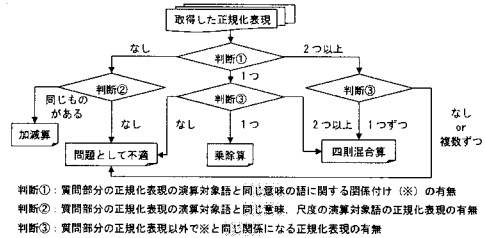


図 13 一般問題の分類の流れ

問題分類の例を加減算、乗除算、四則混合算の順に、図 14～16 に示す。

「赤い色紙が 2枚ある。赤い色紙を 3枚買った。さらに、青い色紙を 5枚買った。赤い色紙は全部で何枚になるか?」

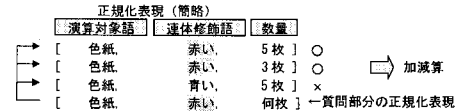


図 14 加減算の分類例

質問部分の正規化表現「色紙、赤い、何枚」の演算対象語「色紙」と同じ意味の演算対象語である関係付けた正規化表現はない(判断①)。次に、「色紙、赤い、何枚」と同じ意味、尺度の演算対象語の正規化表現を探す。「色紙、青い、5枚」は連体修飾語が異なるので、演算には不必要な正規化表現と判断する(判断②)。よって、加減算であると判断できる。

「1冊 260gの本が 20冊ある。本の全体の重さは何gあるか?」

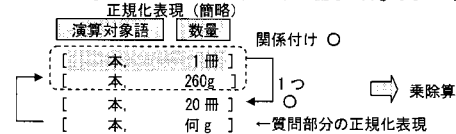


図 15 乗除算の分類例

質問部分の正規化表現の演算対象語「本」と同じ意味の語に関する関係付けの正規化表現[本, 1冊], [本, 260g]がある(判断①)。これが、乗除算の演算で必要となる比の關係のペアの 1つとなり、この關係と同じになるもう 1つのペアを探す。そこで、質問部分の正規化表現とは異なる数量の単位を持つ正規化表現[本, 1冊]に着目し、これと正規化表現の項目[演算対象語]にある語の意味、[数量]にある語の単位が同じである正規化表現を探すと、[本, 20冊]が 1つ見つかる(判断③)。つまり、質問部分の正規化表現と、[本, 20冊]が、もう 1つのペアとなり、この問題は乗除算であると判断できる。

「1個 40円の蜜柑を 4個買った。1本 30円のバナナを 5本買った。果物の代金は全部で何円になるか?」



図 16 四則混合算の分類例

質問部分の正規化表現の演算対象語「果物」と同じ意味の語に関する関係付けの正規化表現[蜜柑, 1個], [蜜柑, 40円]と[バナナ, 1本], [バナナ,

30 円]がある(判断①)。次に、乗除算の比の関係のペアを探す。質問部分の正規化表現とは異なる数量の単位を持つ正規化表現[蜜柑, 1個]に着目し、これと正規化表現の項目[演算対象語]にある語の意味、[数量]にある語の単位が同じである正規化表現を探すと、[蜜柑, 4個]が1つ見つかる(判断③)。同様に、[バナナ, 1本]に着目し、[バナナ, 5本]が1つ見つかる(判断③)。よって、この問題は加減算と乗除算の演算を含む四則混合算と判断できる。

## 8 演算

加減算、乗除算、四則混合算にそれぞれ分類された問題の解答を、演算に関係があると判断された正規化表現の情報をもとに求める。各演算システムの演算手法を以下に述べる。

### 8.1 加減算システムの演算手法

加減算は、「林檎が5個ある。メロンを3個買う。果物は全部で何個になるか?」のように状態が変化する問題、「赤い色紙が10枚ある。青い色紙が5枚ある。色紙は全部で何枚あるか?」のように状態が変化しない問題の大きく2つに分けられる。そこで[変化前]、[変化量△+]、[変化量△-]、[変化後]の4つの成分からなる時系列の考え方(表3)を用い、各正規化表現をこの時系列の成分に格納する。

表3 時系列の考え方

| 変化前      | 変化量△+     | 変化量△- | 変化後      |
|----------|-----------|-------|----------|
| [林檎, 5個] | [メロン, 3個] |       | [果物, 何個] |

表3は、「林檎が5個ある。メロンを3個買う。果物は全部で何個になるか?」という状態が変化する問題から得られた正規化表現を時系列の各成分に格納した例である。状態が変化しない問題も、[変化前]、[変化量△+]、[変化量△-]のいずれか1つの成分に正規化表現を格納することで対応できる。

この時系列の表現を数式表現に直すことで問題の解答が得られる。数値表現に直す際に、①状態が変化する場合、②状態が変化しない場合、③演算対象語が1つに切り離せない正規化表現『合計』or『比較』を含む場合、の3つの場合に分けて考える。

#### 状態が変化する場合

時系列の考え方より、以下の数式が成立し、これにより解答を求めることができる。以下の $a$ は、正規化表現の数量を表す。

$$a_0 + a_+ - a_- = a \quad (1)$$

( $a_0$ : 変化前,  $a_+$ : 変化量△+,  $a_-$ : 変化量△-,  $a$ : 変化後)となる。時系列の各成分への格納方法の説明を含め、例を図17に示す。

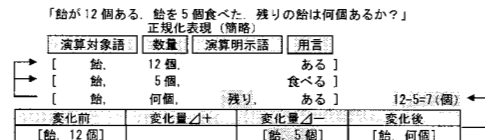


図17 加減算の演算例(状態が変化する場合)

「ある」、「いる」など、時系列の[変化前]or[変化後]の2つの成分に格納するための「変化明示語の知識」を用いて、その成分に正規化表現を格納する。[変化量△+]、[変化量△-]は、①質問部分の正規化表現に「残り」など加算 or 減算を示唆する演算明示語が

ある場合はそれに従う、②演算明示語が存在しない場合は動詞(用言)に加算 or 減算の意味を与えた「加減明示動詞の知識」を用いて成分に格納する、という手法をとる。尚、この例では①の手法で解答「7個」を求めている。

#### 状態が変化しない場合

この場合は、質問部分以外の正規化表現の数量の和を解答とする。例を図18に示す。

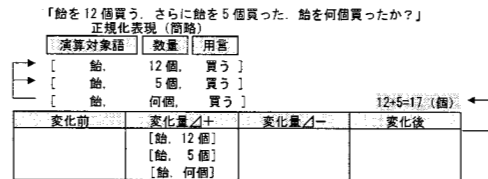


図18 加減算の演算例(状態が変化しない場合)

質問部分以外の正規化表現[飴, 12個]、[飴, 7個]の数量の和「12+7=17(個)」を解答とする。演算対象語が1つに切り離せない正規化表現を含む場合

正規化表現の演算対象語が1つに切り離せないのは、6.2節の図11の説明でも述べたように、『合計』or『比較』の表現を含む場合である。ここでは『合計』の表現を含む例を示す(図19)。

「林檎と蜜柑が全部で10個ある。林檎は7個ある。蜜柑は何個あるか?」

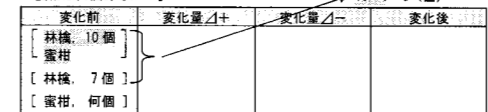


図19 加減算の演算例(演算対象語が1つに切り離せない正規化表現を含む場合)

この場合は、複数の演算対象語を含む正規化表現[林檎, 蜜柑, 10個]から、もう1つの正規化表現[林檎, 7個]の数量を引いた値を解答とする。

### 8.2 乗除算システムの演算手法

一般問題の分類より、既に正規化表現の比の関係のペアは取得できており、以下の数式より解答を求めることができる。例を図20に示す。

$$a_1 b_2 = a_2 b_1 \quad (2)$$

( $a_1, a_2$ : 一方の関係付けた正規化表現,  $b_1, b_2$ : 他方の " )

「1冊260gの本が20冊ある。本の全体の重さは何gあるか?」  
正規化表現(簡略)

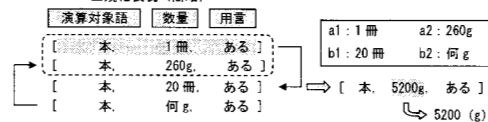


図20 乗除算の演算例

### 8.3 四則混合算システムの演算手法

四則混合算システムは、加減算システム、乗除算システムの各演算手法を組み合わせることにより実現できると考えられる。基本的な考え方は、乗除算部分の演算を先に行い、その結果を用いて加減算を行うというものである。例を図21に示す。

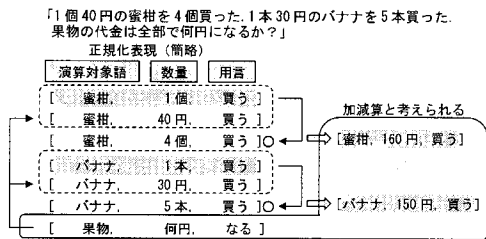


図 21 四則混合算の演算例

関係付けた正規化表現は図の点線で囲まれた部分であり、その上側は質問部分の正規化表現と「蜜柑、4個、買う」と比の関係に、下側は質問部分の正規化表現と「バナナ、5本、買う」と比の関係になる。この段階で乗除算の演算を行うと、正規化表現「蜜柑、160円、買う」、[バナナ、150円、買う]が得られる。次に、実線で囲まれた部分は、加減算の演算手法で述べた「状態が変化する場合」に相当するので、この場合の数式に各数量を代入することにより、解答「310（円）」を求めることができる。

## 9 評価

算数の教科書や参考書から収集した問題を手作業で単文に直した問題、また人手で作成した単文で構成される問題計 280 問（加減算の問題計 100 問、乗除算の問題計 100 問、四則混合算の問題計 80 問）を評価データとし、算数問題解決システムの評価を行った。評価データ 280 問は、本システムの正規化において、意味フレームの各成分に正しく格納された問題であり、解答を求めるために不必要な情報を含む問題も含んでいる。評価結果を図 22 に示す。

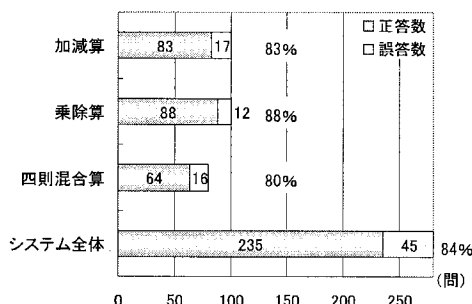


図 22 算数問題解決システムの評価

システム全体で約 84%、加減算、乗除算、四則混合算ではそれぞれ 83%、88%、80%の精度を得ることができた。成功例、失敗例を以下に示す。

### 成功例

- 「1個40円の甘い蜜柑を3個買った。八百屋で1本30円のバナナを4本買った。1本20円の鉛筆を2本買う。果物は全部で何円になるか？」  
→ $40 \times 3 + 30 \times 4 = 240$ （円）  
⇒質問文に対して不必要な情報を含む、過不足のある情報から構成される問題に対応できた。
- 「赤い色紙が2枚ある。赤い色紙を3枚買った。黄色い色紙も5枚買った。赤い色紙は全部で何枚になるか？」→ $2 + 3 = 5$ （枚）  
⇒質問文の演算対象語が修飾されているような問題

に対応できた。

これらから、言葉の意味、文脈、数量の論理関係の判断を考慮した問題の解決が行えたと言える。

### 失敗例

- 「白い花が9本咲いた。黄色い花が5本咲いた。花の違いは何本か？」  
⇒「違い」が「差」を意味するという知識がなく、誤った正規化表現が取得された。このような問題は、新たに語彙や知識を補うことで解決できると考えられる。
- 「定員20名のバスがある。5名の団体が2組ある。7名の団体が1組ある。あと何名予約できるか？」  
「バスの座席が34席ある。お客は48人乗っている。お客は何人立っているか？バスの座席には全てお客が座っている。」  
⇒「定員」と「予約」、また「座席」と「立つ」と「座る」のように、語の意味と論理関係の不理解により、解答が求められなかった。これらの問題に対しては、今後新たな手法を考案する必要がある。

## 10 おわりに

本稿では、辞書や常識知識に加え、様々な関連技術を用いることにより、自然言語文章から対象とする問題（算数問題）を判定し、正しく判定された問題についてはその解答を求めるといった、算数問題を解決する手法を提案した。算数問題の解決において、問題文から演算に必要な情報を抽出、選別することにより、従来のパターン分類による手法ではできなかった言葉の意味、数量の論理関係、文脈の理解を実現することができた。

今後は、文章のみではなく表やグラフなど様々な情報の表現形式にも対応させていくことにより、数量を含む会話の理解に貢献できると思われる。

## 謝辞

本研究は文部科学省からの補助を受けた同志社大学の学術フロンティア研究プロジェクトにおける研究の一環として行ったものである。

## 参考文献

- [1] 眞鍋康人, 小島一秀, 渡部広一, 河岡司, “概念間の関連度やシンソーラスを用いた概念ベースの自動精練手法”, 同志社大学理工学研究報告, Vol.42, No.1, pp.9-20, 2001.
- [2] 笠原要, 松澤和光, 石川勉, “国語辞書を利用した日常語の類似性判別”, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.7, pp.1272-1283, 1997.
- [3] 渡部広一, 奥村紀之, 河岡司, “概念の意味属性と共起情報を用いた関連度計算方式”, 自然言語処理, Vol.3, No.1, pp.53-74, 2006.
- [4] NTTコミュニケーション科学研究所監修, 「日本語語彙体系」, 岩波書店, 東京, 1997.
- [5] 古川成道, 渡部広一, 河岡司, “概念ベースを用いた知的検索における曖昧な質問文の意味理解”, 第18回人工知能学会全国大会, 2D1-10, 2004.
- [6] 篠原宜道, 渡部広一, 河岡司, “常識判断に基づく会話意味理解方式”, 言語処理学会第8回年次大会発表論文集, B6-2, pp.651-654, 2002.