

データベース操作インタフェースの高度化に関する考察

上原 祐介 渡辺 豊英 吉田 雄二 福村 晃夫

名古屋大学 工学部

中京大学 情報科学部

データベース・スキーマを理解していなくても操作できることは、データベースが広く一般に利用されるために必要不可欠である。自然言語によるデータベース操作は、この要求に応える一方法である。しかし、自然言語を形式的なデータ検索手続きに翻訳するには、実世界に関する知識をシステムが持たなければならない。

本稿では、自然言語の翻訳に必要な実世界の意味構造に関する知識を表現するという視点から意味データモデルについて検討する。また、この検討に基づいて一つの意味データモデルを提案し、次に、この意味データモデルに基づいて自然言語の質問文を翻訳する処理について報告する。最後に、プロトタイプ・システムを通して評価する。

A Study of Intelligent Access to Databases

Yuusuke Uehara, Toyohide Watanabe, Yuuji Yoshida

Faculty of Engineering, Nagoya University
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-01, Japan

Teruo Fukumura

School of Computer and Cognitive Sciences, Chukyo University
101, Tokotate, Kaizu-cho, Toyota, 470-03, Japan

It is convenient for every users to retrieve databases without knowledge of database schema. The natural language interface for database access is one of the most effective methods for this issue. However, the database system itself must manage various kinds of information between entities and their relationships in the real world in order to translate the natural language queries into the corresponding data retrieval procedures.

This paper discusses the semantic data model from a viewpoint of the natural language interface issue. Also, through this study, we propose an experimental semantic data model and then report an interpretation method for natural language queries.

1 はじめに

近年、データベース技術の進歩や計算機環境の充実によって、データベースの応用用途が広がりつつある。これにともない、計算機になじみのない人でも容易に操作できることが、データベースに望まれている。しかし、従来のデータベース・システムは、利用者が対象データベースのスキーマの構造と意味を正確に知っていて、そのスキーマの下に形式的な操作言語で質問文を記述しなければ利用できない。このため、一般の人が操作することは容易でない。

このような背景から、自然言語によるデータベース操作の課題が研究されてきた [1][2][3]。しかし、これらの研究では、自然言語の質問文を形式的な操作言語に翻訳するための応用プログラムを従来のデータベース・システムに対するフロントエンドとしたアプローチがとられた。従って、データベース・スキーマの構造に関する知識やデータ間の意味的な関連など、質問文を解釈するために必要なデータベースの意味情報をデータベース・システムとは独立にフロントエンド・システムが用意しなければならない。この結果、データベース設計者は従来のデータベース定義だけでなく、データベースの意味情報をフロントエンド・システムに対して記述しなければならない。すなわち、データベースの変更に対するシステムの移行性 (transportability) を損ねる原因となっている。

これに対して、データベースの意味情報をデータモデルに表現し、データベース・システムが管理する方法がある。この方法では、従来のデータベース・システムと同様にデータベースの変更はデータベース・スキーマの変更で局所化されるため、高い移行性が得られる。しかし、関係モデルなど、従来のデータモデルでは、自然言語の質問文を翻訳するのに必要な、データ間の意味的な関連などを十分に表現できない [4]。

一方、これまで実世界の意味構造をデータベースの構造に直接反映させることを目的として、意味データモデルが研究されてきた [5]。これらの意味データモデルは、データ間の意味的な関連を陽に表現することを目的としている。従って、自然言語の質問文の翻訳に利用するデータモデルとして基本的要件を満たしている。

本稿では、自然言語の質問文の翻訳に利用するという視点から意味データモデルについて検討する。また、この検討の結果に基づいて一つの意味データモデルを提案し、次に、この意味データモデルに基づいて、自

然言語の質問文を翻訳する処理について報告する。最後に、実験的に開発したプロトタイプ・システムを通して評価する。

2 意味データモデルに対する検討

意味データモデルは、実世界の現象をより自然に、また直接的に表現可能なデータモデルとして研究されてきた [5]。これまでに提案された意味データモデルの特徴的な能力は、構造を持った実体を表現する能力と実体間の意味的な関連を陽に表現する能力である。しかし、自然言語などの意味的な曖昧さを含む質問から形式的な操作手続きへの翻訳に利用するには、さらに

- スキーマの表現に対する解釈に曖昧さがないこと
- 自然言語などの質問を解釈するのに十分な情報を表現できること

が要求される。

しかし、これまでに提案された意味データモデルは、これらの要求に対して十分応えていない。具体的には、

- 実体間の関係の表現の多様さ
- 集約構成子と構造的な実体との間の表現の曖昧さ
- 実体間の関係を表現する能力の不足

といった問題がある。以降、それぞれの問題について検討する。

(1) 実体間の関係の表現

意味データモデルでは、実体間の関係を表すのに、実体から実体への関数である属性による方法と複数の実体の直積である集約による方法がある [5]。また、属性による方法には、実体間の関係自身を属性として表す方法と、関係自身を陽に表さずに関係付けられる一方の実体を属性として表す方法がある。例えば、図 1

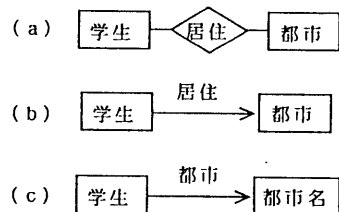


図 1: 等価な関係の異なった表現

のように実体集合「学生」と実体集合「都市」の間の居住関係は、これらの方法によって異なって表現される。ここで、実体集合は四角形で、属性は矢印で、集約は菱形で表されている。(a)と(b)では居住関係そのものが、それぞれ集約と属性によって表されている。一方、(c)では居住関係が陽に表されず、「学生」に関係付けられる「都市」が属性として表され、「都市」を実際に表現するための「都市名」が属性の値域の実体集合となっている。

このような表現の多様性は、利用者がスキーマを理解した上でデータベースを操作する場合には問題とならない。しかし、自然言語の質問文の翻訳に利用するには問題がある。まず、属性と集約の両方を用いることによって、意味的に等価な関係が複数の表現構造で表される。また、属性を用いることによって、図1の(b)と(c)の場合のように同じ表現構造でも異なる解釈をしなければならない。すなわち、(b)では属性を関係と解釈しなければならないが、(c)では関係でなく実体集合と解釈しなければならない。これらは、質問文の翻訳処理を複雑にする原因となり、望ましくない。従って、実体間の関係は集約によって統一的に表現すべきである。

(2) 集約構成子と構造的な実体の表現

意味データモデルを特徴付ける要素の一つに、構造を持った対象を表現する能力がある[5]。これによって、複数の構成部品から成り、さらにそれらの構成部品がいくつかの構成部品から成るような対象を自然に表現することが可能となる。このような構造的な対象は、集約によって表現される。一方、先に述べたように、実体間の関係も集約によって表現される。すなわち、意味データモデルでは構造的な対象の表現と実体間の関係の表現に明確な区別はない。

しかし、これらの解釈は区別されるべきである。例えば、「自動車」という実体は、「車体」、「エンジン」、「タイヤ」などの構成部品の集約として表されるが、「車体」や「エンジン」などの間に「自動車」という関係があるわけではない。従って、スキーマの表現に対する解釈の曖昧さをなくすためには、これらの間の区別を陽に表現すべきである。

(3) 関係に対する実体の役割の表現

意味データモデルでは、対象世界を実体とその間の

関係によって表現する。しかし、自然言語の質問文の意味を解釈するためには、実体と関係だけでは十分でない。例えば、「名古屋に住んでいる学生は?」という質問文に意味があり、「名古屋市に住んでいる学生は?」という質問文に意味のないことを図1で表されている情報だけでは判定できない。これを判定するためには、学生が居住という行為の主体者であり名古屋市、すなわち都市がその場所であるという情報が必要である。

従って、意味データモデルを自然言語の質問文の翻訳に利用するには、実体間の関係に対する各実体の役割の表現を導入する必要がある。このような役割としては、格文法に基づいた方法が自然言語インタフェースの研究で導入され、有効性が示されている[3]。

3 意味表現モデル

2.の検討に基づいて、自然言語の質問文の翻訳に利用するための意味データモデルを構成した。これを、意味表現モデルと呼ぶ。意味表現モデルは、既存の意味データモデルの一つであるERモデル[6]の拡張である。

3.1 意味表現モデルの構成要素

意味表現モデルは、オブジェクト(実体)、クラス(実体集合)、リレーション(実体の集約)によって実世界をモデル化する。

オブジェクトには、「学生」や「自動車」といった物、「居住」や「販売」といった動作・状態を表す抽象(印字不可能)オブジェクトと数値や文字列である値(印字可能)オブジェクトがある。

クラスは、同じ特徴を持ったオブジェクトの集合である。クラスは、抽象オブジェクトを要素とする抽象クラスと値オブジェクトを要素とする値クラスに分類される。抽象クラスのオブジェクトは直接印字できないので、これを印字する場合は値オブジェクトを用いる。このような値オブジェクトを要素とするクラスを、ポインタ・クラスと呼ぶ。また、ポインタ・クラスが指示対象のクラスと一対一の指示関係にあるとき、これをキー・クラスと呼ぶ。

リレーションは、複数のクラス(同一クラスの重複も含む)の集約として、それらのクラス間の関係を表す。また、リレーション自身も一つのクラスである。例えば、クラス「学生」とクラス「都市」の間の関係

表 1: 役割とその意味

役割名	意味
agt	動作の主体者
recp	動作の受容者
obj	動作の対象物
at	動作が行なわれる場所
time	動作が行なわれる時間
inst	動作の手段

を表すリレーション「居住」は、クラス「学生」のオブジェクトとクラス「都市」のオブジェクトの組を要素とするクラスである。

リレーションが動作・状態に対応する場合は、そのリレーションによって関係付けられているクラスに格文法 [7] の考えに基づいた役割を付与する。すなわち、リレーションを動詞 (述語)、クラスを名詞 (格要素) と見なした場合の格構造に基づいて役割を定める。表 1 に、我々が設定した役割を示す。

リレーションが汎化関係を表す場合、これを ISA リレーションと呼ぶ。ISA リレーションにおいて、上位クラスに關係付けられたクラスは、自動的に下位クラスにも關係付けられる。

リレーションが部分-全体関係を表す場合、これを PARTOF リレーションと呼ぶ。PARTOF リレーションによって關係付けられた親クラスは、内部的には集約として表されるが、子クラス間の關係を表すという意味付けは与えない。

3.2 モデル図

意味表現モデルでは、ER モデルのグラフ表記法である ER モデル図 [6] を拡張したモデル図によってスキーマを表現する。図 2 は、意味表現モデルによって表現された自動車工場データベースのスキーマである。

このモデル図においてクラスは四角形で表される。値クラスは、二重線の四角とすることで区別される。抽象クラスに対するポインタ・クラスは、点線の矢印で示される。キー・クラスには、クラス名に下線が付される。リレーションは菱形で表され、関係付けるクラスを矢印で示す。リレーションに対するクラスの役割は、この矢印上に示される。ISA リレーションは、下位から上位クラスへの太線の矢印で、PARTOF リレーションは、子クラスから親クラスへの太線の矢印で表される。

3.3 データ検索

意味表現モデルにおけるデータ検索は、リレーションに適用される基本操作を合成することによって記述される。基本操作は、次のような形式で記述される。
 ([]+ は一つ以上の項の並びを表す)

(リレーション名
 (検索クラス名 [オブジェクト選択子]+)
 [(条件クラス名 [オブジェクト選択子]+)]+)

基本操作は、リレーションに対する次のような操作である。

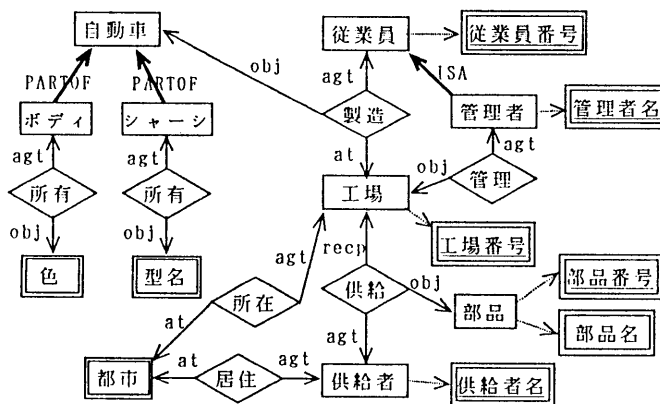


図 2: 自動車工場データベースのスキーマ

- (1) 条件クラス名で示されるクラス中からオブジェクト選択子によって指示されたオブジェクトを取り出す。
- (2) リレーション名で示されるリレーションの要素、すなわちオブジェクトの組の中から(1)で得たオブジェクトを含む組を取り出す。
- (3)(2)で得たオブジェクトの組すべてについて、検索クラス名で示されたクラスのオブジェクトを取り出す。
- (4)(3)で得たオブジェクトの中からオブジェクト選択子で示されるオブジェクトを取り出して結果とする。

オブジェクト選択子には、対象クラスから取り出すオブジェクト自身を記述したり、数値を要素とするクラスの場合に最大値や平均値を求める演算を記述する。

以上のような基本操作を合成することによって、さまざまなデータ検索を表せる。基本操作を合成する方法は、ある基本操作によって得られたオブジェクトを他の基本操作の検索条件とする方法である。これは、次のような形式で記述される。

```
(リレーション名
 (検索クラス名 オブジェクト選択子)
 (条件クラス名 <基本操作>))
```

この合成によって得られる検索条件は、他の条件に対して優先する。

データ検索の記述例を、図3に示す。図3は、図2の自動車工場データベースに対して、「東京にある工場で製造された車の色」を求めるデータ検索を記述している。式中の記号#*は、すべてのオブジェクトを示すオブジェクト選択子、記号poはPARTOFリレーションを表している。

4 質問処理

ここでは、自然言語による質問文を意味表現モデル

に基づいて解釈し、3.で述べた意味表現モデルに対するデータ検索の記述形式に翻訳する方法について述べる。なお、自然言語の質問文として英語の疑問文を用いる。

4.1 意味データモデルに基づいた質問処理

自然言語によるデータベース操作に対する意味データモデルに基づいたアプローチは、質問文の解釈に必要な情報を意味データモデルによって表現することで、データベースの変更をスキーマの変更に局所化し、システムの移行性を高めることを目的とする。従って、質問処理では意味データモデルによって表された情報のみを使って、質問文の意味を解釈しなければならない。

このように、データベース・スキーマによって表された情報を用いてデータベースへの問い合わせを解釈する方法としてMotroの方法がある[8]。この方法では、自然言語ではなく関係モデルの項(関係名、属性名など)の並びによって表された質問式を対象としている。質問式の解釈の方法は、質問式に含まれる各項を関数従属性などの関係リンクを付与したスキーマと照合させて、その間の関係を得ることにより意味を解釈するという方法である。しかし、この方法では関係モデルの意味表現能力が低いことや自然言語のように構文的な情報を解釈に利用できないことから、意味的な曖昧さが大きい質問式に対して処理効率が悪いなどの問題がある。

我々の質問処理の方法は、自然言語の質問文を3.で述べた意味表現モデルのスキーマの項の並びと見なして、これをスキーマと照合することによって、その意味を解釈する。また、質問文の構文的な情報を補助的に利用し、解釈の曖昧さを減らすことによって、意味解析処理の負担を軽減する。すなわち、我々の方法はMotroの方法に対して、問題点を解決する方向に拡張している。

```
(所有 (色 #*) (ボディ
 (po (ボディ #*) (自動車
 (製造 (自動車 #*) (工場
 (所在 (工場 #*) (都市 東京)))))))
```

図3: 「東京にある工場で製造された車の色」を求める検索

4.2 処理の概要

自然言語の質問文をデータ検索記述に翻訳する処理の流れを図4に示した。処理全体は、統語の解析処理と意味の解析処理から成る。以降、統語の解析処理について述べ、次節で意味の解析処理について述べる。

統語の解析処理では、初めに、入力された英語の疑問文を単語列に切り分け、各単語について、意味表現モデルによって表されたスキーマ（以降、意味表現スキーマと呼ぶ）の項に対応する単語はその項で置き換える。冠詞などのスキーマの項に対応しない単語は置き換えられずに、その単語自身が項となる。この置換処理された結果を項の並び列と呼ぶ。図5に、語句を解析処理して生成した項の並び列の例を示す。この例の質問内容は、図2のデータベースである。この例に示されているように、置換項にはオブジェクト、クラ

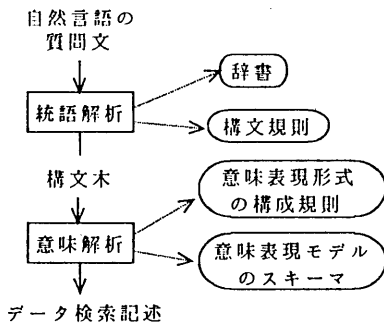


図4: 質問文の解析処理

ス、リレーション、リレーションに対するクラスの役割のいずれに対応するかという情報が付与される。この置換処理には、辞書が用いられる。辞書には、英単語と対応する意味表現スキーマの項が対になって登録されている。

以上の処理で得られた項の並び列を DCG 法 [9] によって構文解析し、構文木を生成する。図5で示された項の並び列に対して、構文解析の結果得られた構文木を図6に示す。図中の記号 S、K は、それぞれ文と句に対する構文カテゴリである。

4.3 意味の解析処理

意味の解析処理では、最初に統語解析によって得られた構文木を意味表現スキーマのクラス、リレーション、リレーションに対するクラスの役割、及びデータ検索記述のオブジェクト選択子による検索条件の記述からなる表現形式（意味表現形式と呼ぶ）に変換する。図2で表されたデータベースに対する、図5の質問文の意味表現形式を図7に示す。この図で、オブジェク

例文

Who manages factories in Nagoya ?

項の並び列

[who, (relation manage), (class factory), (role at), (object nagoya city)]

図5: 項の並び列

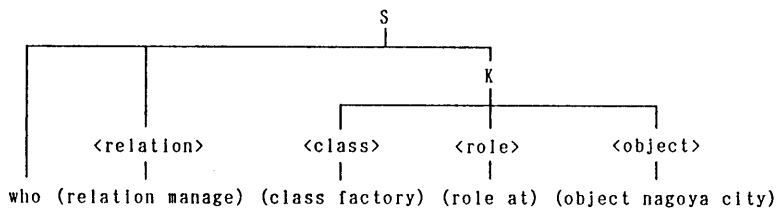


図6: 構文木

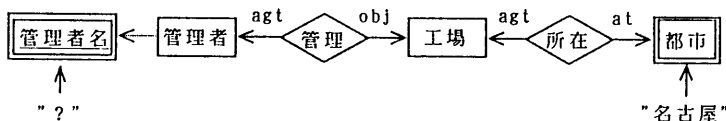


図7: 意味表現形式

ト選択子による検索条件は、クラスに対して矢印で示されている。また、記号?は検索対象のクラスであることを示している。

意味の解析処理では、初めに構文木によって表された構文的な情報からわかる範囲で、質問文を意味表現形式に翻訳する。次に、意味表現スキーマを参照することによって、意味表現形式の曖昧な部分を補完し、完全な意味表現形式を得る。以降、それぞれの処理について述べる。

(1) 意味表現形式への翻訳

構文木から意味表現形式への変換は、意味表現形式の構成規則に従って実行される。意味表現形式の構成規則は、構文木を構成する各部分木を、どのような意味表現形式の断片として構成するかを表す規則である。構成規則の例を図8に示す。この図は、上の構文木が下の意味表現形式の断片に変換されるという規則を表している。点線の矢印は、構文木を構成する項と意味表現形式の項との対応を示している。点線の四角で表された句Kの部分は、そこに句Kに対する意味表現形式が合成されることを示す。意味表現形式の斜線の部分は、構成規則では決定できないため、未確定となる部分を表している。Sを根とする構文木では、疑問詞「who」に対応するクラスと句Kに対応するクラスが

<relation>に設定されるリレーションによって関係付けられること、疑問詞「who」に対応するクラスはリレーションを述語とした場合の主語に当たるので、役割が行為主(agt)であることが構文情報からわかり、規則に記述されている。しかし、「who」に対応するクラスや句Kに対応するクラスの役割は、構文情報からはわからないので未確定となっている。Kを根とする場合も同様で、構文情報からはわからない部分が未確定となっている。

このように、意味表現形式の構成規則は、質問文の構文情報からわかる範囲で意味表現形式への変換方法を与え、構文情報だけではわからない部分は未確定のまま変換するように構成されている。従って、構文情報だけでは解決できない意味的な曖昧さを含む質問文では、クラス名、リレーション名、役割名などに未確定な部分を含んで意味表現形式が生成される。図6の構文木に対して図8の構成規則を適用した例を図9に示す。

(2) 意味表現スキーマとの照合

構成規則によって生成された意味表現形式の未確定な部分を決定するためには、対象世界の概念構造に関する知識が必要である。そこで、構文木から意味表現

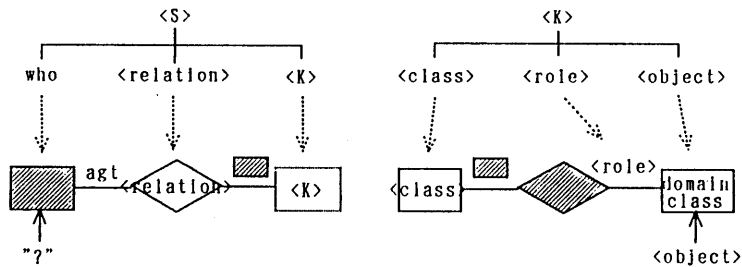


図 8: 意味表現形式の構成規則

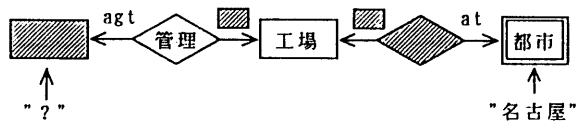


図 9: 構成規則によって生成された意味表現形式

形式への変換処理に続いて、意味表現形式と意味表現スキーマを照合する。この照合によって、構文情報だけでは決定できなかったクラスやリレーションが確定し、質問文に対する意味表現形式が得られる。

意味の解析処理では、以上の処理によって構文木を意味表現形式に変換する。構文解析によって複数の構文木が得られた場合は、すべてについて意味解析し、照合処理で意味表現スキーマと整合したものを解析結果とする。もし、意味表現スキーマに整合したものが複数あった場合は、意味表現形式の構成規則によって変換した時点で未確定な部分が最小のものを解析結果

とする。

こうして構成された意味表現形式を、各リレーションごとにデータ検索記述の基本操作に置き換える。これを合成することによって質問文に対するデータ検索記述を生成する。

5 実行例と問題点

4. で述べた処理によって英語の疑問文をデータ検索記述に翻訳する機構と簡単なデータベース管理機構を実験的にプロトタイプ・システムとして、ワークステーション ELIS 上に Lisp 言語で構築した。図 10

```
> Who supplies volts with factories in Tokyo ?
>>  supplier.name
      -----
      Smith
      Anderson
      Ford
```

(a) データ値検索に対応する疑問文

```
> Does Mr.Smith make red cars ?
>> Yes, Mr.Smith does.
```

(b) Yes/No で答える疑問文

```
> What are factories Tokyo ?
>>  factory.number
      -----
      f107
      f211
      f748
```

(c) 構文的な誤りを含む疑問文が受理された例

図 10: データ検索の実行例

は、システムの実行例である。図10(a)は、通常のデータ値検索に対応する疑問文を入力した例である。図10(b)は、Yes/Noで答える疑問文を入力した例である。また、図10(c)は、ある程度の構文的なミスを含む文でも柔軟に解釈し、受理した例である。これは、意味の解析処理に重点を置き、構文の解析処理を意味の解析処理に対する補助的な処理とした結果である。

このように、我々の方法ではごく簡単な文に限定すれば、自然言語によってデータベースが操作でき、かつ、データベース・システムの高い移行性を実現できる。しかし、受理可能な疑問文の制約が大きいため、利用者は試行錯誤の結果、特定の構文のみを使うようになり、自然言語を使用する利点が損なわれることが問題である。我々の方法では、受理可能な文に次のような制約がある。

- 使用できる単語は、疑問詞や冠詞など、対象データベースに依存しない語を除いては、基本的にスキーマの項か、データベース中のデータ値に対応する語のみである。
- 受理可能な文の構文構造が、スキーマの構造に依存する。
- 時制や可能、推量などの様相の概念を含む文の意味を正確に解釈できない。

一番目の制約は、単語辞書の内容を拡張することで解決できる。しかし、あらゆる対象領域に使用できるような、一般性を持った辞書を用意することは現実的でない。よって、辞書に登録されていないような単語が使用された場合に対処する方法が課題である。二番目の制約は、質問文の解釈処理方法の問題である。固定されたデータベース・スキーマを利用して、多様な構文構造に柔軟に対処するような意味解析処理、すなわちスキーマとの照合処理機構を開発しなければならない。三番目の制約は、意味表現モデルの表現能力の問題である。時制や様相の概念を持った自然言語の質問文を解釈するには、意味表現モデルに時間や様相の概念を表現する機構を導入する必要がある。

6 おわりに

本稿では、自然言語の質問文から形式的なデータ検索記述への翻訳処理に適用可能な意味データモデルの

基本的要件について検討した。また、その検討結果に基づいて意味表現モデルを構成し、これに基づいて自然言語の質問文を解釈する方法について述べた。

我々の方法では、質問文の解釈に必要な実世界のモデルを意味データモデルとすることで、自然言語による操作機能と同時にデータベースの変更に対して高い移行性を持つデータベース・システムを構築可能である。しかし、この方法では、我々が日常使用している多様な自然言語を扱えるまでには至っていない。これについては、5.で述べたような課題を解決することで、ある程度までは改善できる。しかし、扱える自然言語を我々が日常使用している範囲まで拡張するためには、より複雑で大量の知識を意味データモデルとして記述しなければならない。この結果、データベース設計にかかる労力は膨大なものとなる。

このように、自然言語を扱う能力とシステムの移行性はトレード・オフの関係にあるが、データベース・システムとして移行性は不可欠なので、扱う自然言語は制限せざるをえない。そこで、今後は限られた表現だけが許された自然言語によってデータベースを利用するという制約の下で、いかに操作性を向上させるかが検討課題である。

謝辞

日頃からご指導いただく名古屋大学工学部杉江昇教授、稲垣康善教授、鳥脇純一郎教授に感謝するとともに、吉田研究室の皆様にも感謝します。

参考文献

- [1] 藤崎他: “データベース照会システム「ヤチマタ」と名詞句データ模型”, 情報処理学会論文誌, Vol.20, No.1, pp.77-84(1979).
- [2] Ishikawa, H. et al.: “A Knowledge-Based Approach to Design a Portable Natural Language Interface to Database Systems”, Proc. of International Conference on Data Engineering, pp.134-143(1986).
- [3] 中川, 加藤: “日本語データベース検索システムにおける意味理解方式”, 情報処理学会論文誌, Vol.27, No.11, pp.1069-1076(1986).

- [4] Ullman, J.D.: "Principles of Database Systems", Second Edition, Computer Science Press, 1982.
- [5] Hull, R. & King, R.: "Semantic database Modelling: Surveys, Applications and Research Issues", ACM Comput. Surv., Vol.19, No.3, pp.201-260(1987).
- [6] Chen, P.P.: "The Entity-Relationship Model: Toward a Unified View of Data", ACM Trans. Database Syst., Vol.1, No.1, pp.9-36(1976).
- [7] Bruce, B.: "Case Systems for Natural Language", Artif. Intell., Vol.6, pp.327-360(1975).
- [8] Motro, A.: "Constructing Queries from Tokens", Proc. of ACM SIGMOD'86, pp.120-131.
- [9] Pereira, F.C.N. & Warren, D.H.D.: "Definite Clause Grammar for Language Analysis", Artif. Intell., Vol.13, pp.231-278 (1980).