

in 言語情報処理の高度化のための基礎研究  
研究成果ヒトヒメ 公開シンポジウム, 文部省, 29-35 (1989)

## 言語理解の計算モデル

田中穂積

(東京工業大学・工学部)

### 1. はじめに

我々は、何の苦もなく母国語の(自然)言語を用いて会話し、相互の意志疎通を図ることができる。特に難解な文、会話でない限り、読み取ったり聞き取ることができさえすれば、母国語を理解することができる。言語理解能力は、人間の知能と密接に関連しているので、言語理解の研究は主として人工知能の研究として取り上げられてきた。人間は、生まれながらにして言語を理解したり言語を使用する能力を持っているように見える。人間の言語理解の能力は、人間の遺伝子のレベルに組み込まれていると考えている人もいる。もしそれが事実であるとするれば、言語理解能力は、人間に固有のものであるとする考え方に明確な支持を与えることになる。しかし、遺伝子に関する研究の進展は目ざましいとはいえ、我々の遺伝子の一部が言語理解能力に関連しているという証拠はまだ発見されていない。

コンピュータと我々との間に存在する大きな障壁の一つに、使用言語の相違がある。この障壁が取り除かれれば、誰でもコンピュータを使用することができるようになり、コンピュータは我々の一層身近な存在になる。言語理解システム研究の究極の目的は、人間とコンピュータとが自然言語で会話し、相互に意志疎通が可能な計算モデルを作ることである。言い換えるとコンピュータと人間との間に新しいインタフェースを確立することである。そのためには、コンピュータ側に言語理解能力を賦与しなければならない。

ここで、我々は日本語をどの様に習得したかを考えてみたい。日本人である我々は、意識的に日本語を習得しようとしたわけでもないのに、気が付いたら日本語が話せるようになっている。

したがって、母国語の習得はほとんど無意識のうちになされるといって良いだろう。一方、日本において外国語を習得する場合には、個人差こそあれ一般に困難を伴う。外国語の習得には相当な時間と努力を要す。以上のことから分かることは、コンピュータに言語理解能力を賦与することは、容易なことではないということである。これは、短期の研究テーマと言うより長期の研究テーマである。さらにいえば、原理的に、コンピュータに言語理解能力を賦与することが可能かどうか議論の分かれるところである [Winograd 86] [Gardner 86]。

ここで次の注意をしておきたい。たとえ原理的に不可能であるとする結論が得られたとしても、コンピュータに言語理解能力を賦与する研究が無意味であるとは言えないということである。最終目標に漸近的に接近することは、それなりに意味あることだと考えるからである。そうした漸近的な接近から、実用になる研究成果が生まれることも十分ありうることである。

以上のことを念頭において、言語理解の計算モデルに関連する我々の研究成果の一端を述べてみたい。

### 2 言語理解システムの構成

図1に、言語理解の計算モデルの概略を示す。これは大略次の三つのモジュール(マシン)から構成されている [田中 88]。

- (1) 知識ベースマシン
- (2) 推論マシン
- (3) 言語処理マシン

まず言語解析により、文の言語的な処理を行い意味構造を抽出する。言語解析には形態素解析、統語解析、意味解析、文脈解析が含まれる。解析時には、主として文法や辞書を使う。時には

社会的、文化的な一般常識を使うこともある。これらは中央にある知識ベースマシンの中に格納されている。言語処理マシンは推論マシンの助けを借りて、適切な時点で適切な知識を知識ベースマシンから引き出し利用する。言語解析の結果として意味構造を抽出する。このようにして抽出した意味構造は、問題解決の入力とな

り、入力文が疑問文であれば、推論マシンと知識ベースマシンの力を借りて答えを作り出す。入力文が平叙文なら理解した結果を知識ベースに蓄積する。本章では、言語処理マシンの一部、特に統語解析と意味解析に関する筆者らの研究を述べてみたい。

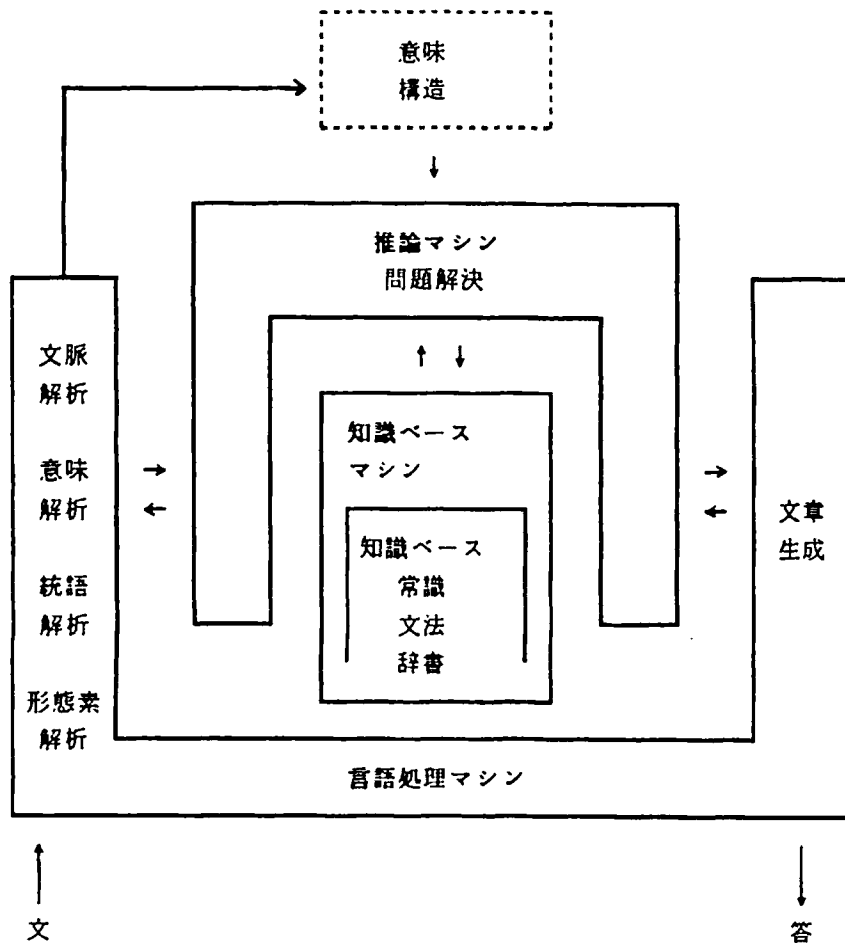


図1 自然言語理解システムの構成

### 3 統語解析—SGLRシステム

図1に示したように、統語解析は言語理解システムの入口にあたるので重要である。統語解析の目的は以下の通りである。

(1) 文法と辞書を用いて、与えられた文が統語規則(syntactic rule)に適合しているかどうかを判定する、

(2) 文の統語構造(syntactic structure)を抽出する、

(2. 1) 文の型(平叙文、命令文、疑問文、感嘆文)を決める、

(2. 2) 文の主部、述部を抽出する、

(2. 3) 修飾/被修飾関係を抽出する

(3) 意味解析への橋渡しをする。

統語解析については優れた手法が幾つか開発

されている。主なものを表にまとめて以下に示す [田中 89]。

統語解析法	バックトラック	探索法	基本的な解析の向き	文法	統語解析過程の統制法, その他
ATN+	有り	縦型探索	トップダウン	一般のCFG	
CYK法	無し	横型探索	ボトムアップ	フォースト-標準形のCFGで $\epsilon$ 生成規則不可	
7-リ-法	無し	横型探索	トップダウン	一般のCFG	
ファ-ト法	無し	横型探索	トップダウン	一般のCFG	7-リ-法と同じ7NOLISM
	無し	横型探索	ボトムアップ	一般のCFG	規則選択行列による統制が考えられている
アラト・敵見法+	無し	横型探索	ボトムアップ	一般のCFG	*トA777'ファ-ト法と同じ7NOLISM, 但し, 到達可能行列による統制
LR(k)法	無し		ボトムアップ	LR(k)文法	決定的な解析 (完全統制)
富田法+	無し	横型探索	ボトムアップ	一般のCFG	完全統制
LL(k)法	無し		トップダウン	LL(k)文法	完全統制
BUP+システム	有り	縦型探索	ボトムアップ	一般のCFG	到達可能行列による統制
SAX+システム	無し	横型探索	ボトムアップ	一般のCFG	規則選択行列による統制 (*トA777'ファ-ト法が'-ス)
SGLR+システム	無し	横型探索	ボトムアップ	一般のCFG	完全統制 (富田法が'-ス)

( "+" 記号がついているものは, 補強CFGを扱う方法が考慮されている。)

上記した表の最後に、Prolog上で動作する代表的な自然言語処理システムを示してある。筆者らはこれまでBUPシステム [Matsumoto 83] をさらに発展させた自然言語処理システムLangLABを開発している [Tokunaga 88]。SAXシステムはチャート法をベースにしており、統語解析の速度はLangLABのそれを1桁上回る [松本 86]。ところが最近筆者らは富田法 [Tomita 87] をベースにした自然言語処理システムSGLRシステムを開発している [沼崎 89]。このSGLRシステムはSAXシステムの統語解析速度を凌ぐ性能を持っている。富田法は、LR(k)法を一般化した統語解析法であり、先読み情報を利用するので無駄な解析を行わないからだと思われる。

文法記述はDCGを用いるが [Pereira 80] [Pereira 87] およそ550程のDCG規則を用いたSGLRシステムによる統語解析の実験結果を以下に示す。

実験に用いた解析例文：

(1) The annotations provide important information for other parts of the system that interpret the expression in the context of a dialogue.

(2) For every expression it analyses, diagram provides an annotated description of the structural relations holding among its constituents.

(3) Procedures can also assign scores to an analysis, rating some applications of a rule as a probable or unlikely.

解析例文 番号	解析速度 (nsec)	解析木の数
(1)	350	5
(2)	250	4
(3)	227	12

上記した統語解析速度は、我々の予想を上回

るものであった。今後SGLRを自然言語処理用のツールとしてさらに発展させる積もりである。SGLRシステムは容易に並列統語解析システムとして拡張可能である。筆者らは既に、第5世代コンピュータ計画で開発された並列論理型言語GHC [Ueda 85] を用いた並列統語解析システムPGLRのプロトタイプを開発している。現在、そのアルゴリズムの改良を進めているところである。富田法は、極めて特殊なCFGに対して、解析すべき文の長さnに対する解析速度のオーダーが $n^3$ 以上になることをJohnsonが指摘している [Johnson 89]。これは、アーリー法よりオーダーが悪くなることを意味している [Aho 72]。現在、富田法の良さを生かしつつ極めて特殊なCFGに対しても、解析速度のオーダーを $n^3$ に抑えることのできる新しい統語解析アルゴリズムの研究も進めている。

### 3 意味解析

本章では、筆者らが最近行った意味解析に関する計算モデルを二つ紹介する。第一は「常識を用いた日本語連体修飾節の意味解析モデル」である。第二は「増進的曖昧性解消のための計算モデル」である。

#### 3.1 常識を用いた日本語連体修飾節の意味解析モデル

意味解析には多量の知識が必要になることは、既に多くの研究者が指摘している。たとえば、次の二つの文を考えてみよう。

(a) さんま を 焼く 母親 が振り向き  
ました。

(b) さんま を 焼く 煙 が立ちこめ  
ました。

いずれも「さんまを焼く」という埋め込み文が、後続する名詞を連体修飾している。文(a)の連体修飾構造は、英語の関係代名詞節の構造と似ている。埋め込み文中の主格の位置を占める「母親」が、右に移動し連体修飾された構造をしているからである。ところが文(b)の「煙」は、埋め込み文中のいかなる格の位置をも占めることができない。

文(a)は「焼く」という動詞を調べて、

「母親」が占めるべき格を直接捜し出すことができるので、意味解析の観点からは解析が容易であるといえよう。一方、文(b)は「焼く」という動詞を調べても、「煙」が占める格が直接発見できない。

我々は、文(b)を理解するとき常識を用いた推論を行っていると考えられる。すなわち「物を焼けば、煙がでる」という常識を用いる。そして文(b)の「煙」は、「さんまという物を焼いた結果発生したものである」という推論を行って、文(b)を理解していると考えられ

る。日本語の連体修飾節を含む文には、このような英語の関係代名詞節とは異なる構造を持つ文が多数存在している。

筆者らは、平井の研究を参考にして〔平井 87〕、被修飾名詞句と連体修飾節との間の意味関係により、日本語の連体修飾節を次の五つに分類した。そしてそれぞれから意味構造を抽出するアルゴリズムを開発している〔佐藤 89〕。以下に具体例を用いて説明する。

(1) 格要素型:

(c) 「さんまを焼く母親が. . .」  
焼く<sub>i</sub> -- (動作主) --> 母親<sub>i</sub> (さんまを焼く母親)  
事象 深層格 被修飾名詞の概念

(2) 関数名詞型:

(d) 「学校へ行く目的は. . .」  
行く<sub>i</sub> -- (目的) --> 目的<sub>i</sub> (学校へ行く目的)  
事象 関数 関数值

(3) 内容記述型:

(e) 「建物が破壊された事件. . .」  
破壊する<sub>i</sub> -- (内容) --> 事件<sub>i</sub> (建物が破壊された事件)  
事象 被修飾名詞の概念

(4) 推論型:

(f) 「さんまを焼く煙. . .」  
焼く<sub>i</sub> -- (結果) --> 発生する<sub>i</sub> -- (対象格) --> 煙<sub>i</sub> (さんまを焼く煙)  
事象 事象 深層格 被修飾名詞の概念

(5) 間接限定型:

(g) 「髪が長い少女が. . .」  
長い<sub>i</sub> -- (対象格) --> 髪<sub>i</sub> -- (部分) --> 少女<sub>i</sub> (髪が長い少女)  
状態 深層格 被修飾名詞の概念

上記した連体修飾節を含む文の意味解析は、先頭の(1)から順に試みる。推論型の連体修飾節の意味解析には、二通りの方法がある。一つは「車を売ったお金で. . .」というような文を解析する場合、埋め込み文の動詞「売る」から得られる情報を用いて「売る」と「お金」の関係を推論する。もう一つは「さんまを焼く煙

. . .」というような文を解析する場合、被修飾名詞「煙」から得られる情報を用いて、「焼く」と「煙」の関係を推論する。後者は、次の常識(スキーマ)を用いる。すなわち「煙」が「現象」であることをスキーマのIF部で確認して、THEN部の常識を用いた意味解析を行う。

I F

被修飾名詞の表す概念--( i s a )-->現象

T H E N

発生する<--(結果)--連体修飾節の表す事象



被修飾名詞の表す概念

しかし以上で説明した我々の日本語連体修飾節の意味解析モデルでは解析不可能な文がある。

- (h) プラスチックを強化する新材料を開発した。  
(プラスチックを強化するのに用いる新材料)
- (i) プラスチックを強化した新材料を開発した。  
(プラスチックを強化した結果得られた新材料;  
プラスチックを強化するのに用いた新材料?)
- (j) 本屋が破産した学者を慰める

文(h)と文(i)では、埋め込み文のアスペクト(完了相)が微妙に影響している。最後の文(j)は二通りの意味解釈が可能であるが、「本屋が破産してしまった(恐らく本を出版途中の)学者を(誰かが)慰める」という意味解析を行うことは難しい。この場合、我々の計算モデルでは「本屋が破産した」ことと「学者」との間の意味関係が容易に推論できないからである。これはむしろ意味解析のための知識の構造に関連する問題であるかも知れない。文(h)から文(j)をどの様に解析するかは今後の課題である。

### 3. 2 増進的曖昧性解消のための計算モデル

言語処理の研究は、人間の行う自然言語処理過程がどのようなものかという研究を促すことになった。言語学がとすればスタティックな言語現象を扱うことが多かったのに対し、人間の言語理解過程というダイナミズムを含む言語現象の解明の重要性が認識されるようになってきた。その延長上に、既存の正統的な心理学にあきたらない心理学者との交流があった。そして言語理解の研究者と心理学者との交流が、認知科学の誕生に大きな役割を果たしたことはよ

く知られている[Gardner 85]。人間とコンピュータとの間のセマンティックギャップを解消するための工学的ともいえる研究が、人間それ自身の研究に回帰してきていることは興味深い。

言語解析には、統語解析(形態素解析)、意味解析、文脈解析が含まれるということを図1で説明した。これらは独立した解析であろうか。人間はこれらを融合した言語解析を行っている。そして、文の部分を読み込んだ段階で部分的な意味構造を抽出し、以後の文の解析に利用し、意味ある言語解析結果を少数に絞り込み、文を読み終わった段階で(多くの場合)ただ一つの意味構造を得ているものと推察される。それをどのような計算モデルとして実現するかは、現在でも興味ある研究課題である。

すでに述べたように、人間はおそらく、統語解析と意味解析とを融合した言語解析を行っている。文全体を読み終わり統語解析が済むまで、文の解析を全く行わずに待つなどということはない。文を読み進む過程で、部分的な意味解析を次々に行い、文全体の解析結果を得ていると考えられる。コンピュータ内部につくられた部分的な解析結果(実体)は、その後の解析が進むにつれて曖昧性が次第に解消されると共に、

明確化し精密なものになっていく。その意味で、人間は「フレーゲの原則」に近い言語解析を行っているが、「フレーゲの原則」の限界をも克服する柔軟な解析機構を持っている。このような曖昧性解消のことを「増進的曖昧性解消」とよぶことにする。

ここで自然言語に含まれる意味的曖昧性を増進的に解消するためには、大別して次の2つの意味的曖昧性を考慮する必要がある。

(a) 意味するものとして複数の可能性が存在する。

(b) 意味するものが一つに決まっているが、まだ十分に詳細化されていない。

多義性や同音異義性に基づく曖昧性は(a)の範ちゅうに、また名前や年齢が未定の「男」は(b)の範ちゅうに入る。(a)の範ちゅうの曖昧性の解消は、解析が進むに連れて、可能性の数を減らすことである。一方(b)の範ちゅうの曖昧性の解消は、解析が進むに連れて、意味するものの詳細化を行うことである。(a)の範ちゅうの曖昧性解消法としてポラロイド語

とよばれる考え方がある[Hirst 87]。ポラロイド語は、複数個の意味的曖昧性をもつ語であり、ポラロイド写真のように、時間の経過と共にぼやけた像が次第に明確化するという気持ちを表している。(b)の範ちゅうの曖昧性解消については、Sowaの提案したRestrict操作とJoin操作がある[Sowa 84][Ringland 88]。Restrict操作では「人間」と「男」をユニファイさせると、「人間」はより限定された「男」になる。またJoin操作では、「年齢が27才の男」と「太郎という名の男」をユニファイすると「太郎という名の27才の男」を得る。

筆者らは(a)と(b)の範ちゅうの曖昧性を、Prolog上で統一的に行う増進的曖昧性解消モデルを提案している[奥村 89]。そのために拡張したユニフィケーションを用いる[赤間 89]。

我々の提案する拡張ユニフィケーションの例を図2に示す。

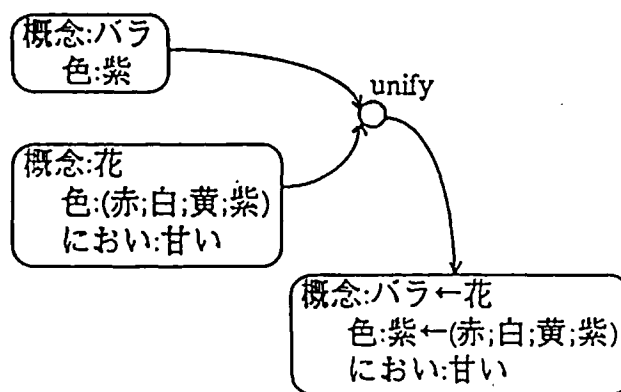


図2 拡張ユニフィケーションの一例

ユニフィケーションとは2つの表現を同一化することである。これは照応関係の決定にもよく使われる。例えば、「庭に紫の薔薇が咲いている。私はその甘い匂いの花が好きだ。」という文の意味解析では、後続文の「花」と前文の「薔薇」とのユニフィケーションを行う必要がある。図2では、概念名「花」と「薔薇」をユニファイすると、下位概念の「薔薇」が得られる。これはSowaのRestrict操作に対応し、(b)

の範ちゅうの曖昧性解消が行われたことになる。図2では、得られた「薔薇」の色が「紫」に特定化される。これは「花」の色として様々な可能性があるが、それが一つに決定されたことになるので、(a)の範ちゅうの曖昧性解消が行われたことになる。ここで図2に現れる矢印は値の変化過程を示す。値の変化過程は曖昧性解消過程で新たに得られた制約により引き起こされるので、これは制約の蓄積過程に対応する。

筆者らの拡張ユニフィケーションでは、制約の蓄積をも同時に行う。

向井らの知識表現言語C I Lで用いた部分項は、(b)を実現することはできるが、(a)が考慮されていない [Barwise 83] [向井85] [C I L 88]。筆者らの拡張ユニフィケーションは、(a)と(b)が共に実現可

能である。

最後に本拡張ユニフィケーションを用いて、自然言語の意味的曖昧性を増進的に解消する例を図3に示す。なお図3では簡単のために制約の蓄積過程は省略してある。

はし を かけた 川 が はんらんした。

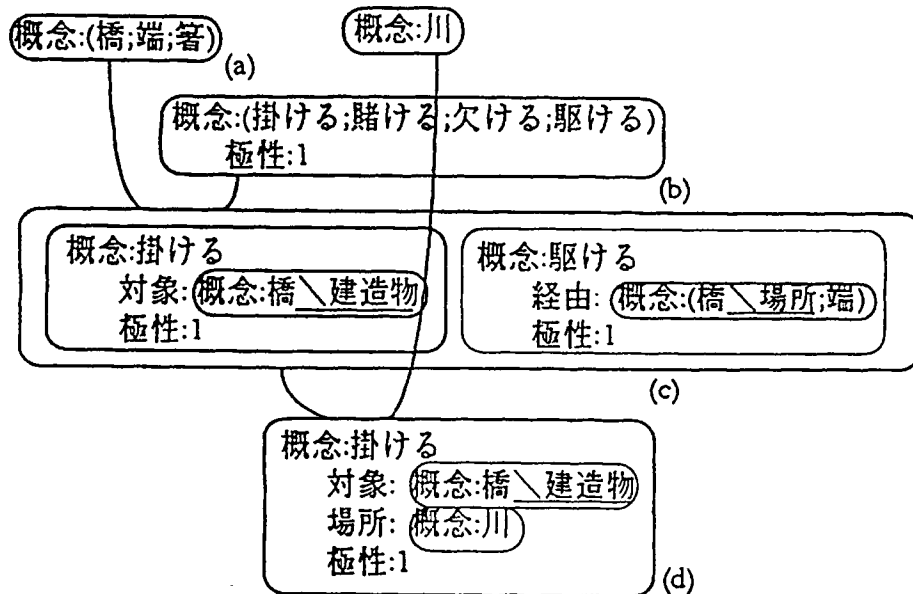


図3 拡張ユニフィケーションによる増進的曖昧性解消

増進的曖昧性解消のための計算モデルのその後の発展について少し説明しておきたい。我々は、弁別網 (discrimination net) の考え方が、増進的曖昧性解消のための計算モデルとして役立つと考えている。弁別網を下方に辿ると、得られる結果の数、言い換えると可能性の数が減少する。この性質は増進的曖昧性解消のための計算モデルとして好ましい性質を持っている。しかし言語の意味理解にこの弁別網を利用しようとしたときの問題は、弁別網を下方に辿るために用いる情報が、弁別網が必要としている順番通りにやってくるかどうかその保証がないことである。言語には省略文があるから、弁別網の根のところが必要とする情報が来ないこともある。そのため、増進的な曖昧性の解消ができ

なくなってしまう。この問題に対する一つの解は、奥村らが与えた [奥村 89]。増進的曖昧性解消の計算モデルとして、奥村らのモデルが有効性であるかどうか検討を進めているところである。

#### 4. おわりに

本稿では詳しく触れることができなかったが、本特定研究では、視点を考慮した意味についても研究を進めた [徳永 89]。これは、図3の意味解析でも使われている。図3の「掛ける」対象が「橋\建造物」となっている。これはこの文中の「橋」を「場所」としてではなく、「



建造物」としての視点から眺めるということの意味している。我々はこれを視点表現とよんでいる。そして、この場合の「橋」をターゲット概念、「建造物」をソース概念とよんでいる。視点表現は、ある概念をどういう視点から眺めているかを、記号バックスラッシュを用いて表す。視点を含む表現は、何重にもネストできる。視点表現を導入することにより、上位/下位関係に関するシンソーラスが簡潔になるだけでなく、シンソーラス開発の見通しも良くなると考えている。

本特定研究に引続き、重点領域研究「人間-機械・システム協調のための高次コミュニケーションに関する基礎的研究(研究代表者 野口正一)」に参加する機会を得たが、そこで視点表現を利用した比喩理解のための計算モデルの研究を進めている。

これまでの意味理解の計算モデルでは、選択制限を用いた意味解析を行うことが考えられてきた。これは言い換えるとリテラルな文と非文とを区別する二者択一的な処理を強制する。しかし比喩は、むしろ選択制限に抵触する言い回しにより、比喩独特の意味理解がなされる。リテラルな文と非文との中間に位置するのが比喩表現であると言っていよいよだろう。この問題は視点表現を導入することにより部分的に解決できることが分かってきている。

## 参考文献

- [Aho 72] Aho, A. V. and Ullman, J. D.: The Theory of Parsing, Translation, and Compiling, vol. 1 and 2, Prentice-Hall (1972).
- [赤間 89] 赤間清: 認識と知識の逐次更新過程と知識表現系, 博士論文, 東京工業大学 (1989).
- [Allen 87] Allen, J.: Natural Language Understanding, The Benjamin/Commings Publishing Company, Inc. (1987).
- [Barwise 83] Barwise, . and Perry, J.: Situations and Attitudes, The MIT Press (1983).
- [Caneghem 86] van Caneghem, M. and Warren, D. H. D.: Logic Programming and its Applications, Ablex (1986).
- [CIL 88] CIL 言語マニュアル, 新世代コンピュータ技術開発機構, 第3版 (1988).
- [Gardner 85] Gardner, H.: The Mind's New Science, Basic Books Inc. (1985).
- 佐伯(他訳): 認知革命, 産業図書 (1987).
- [平井 86] 日本語文の構文および意味構造の解析手法に関する研究, 博士論文, 豊橋技術科学大学 (1986).
- [Hirst 87] Hirst, G.: Semantic Interpretation and the Resolution of Ambiguity, Cambridge

視点表現を導入すると、比喩理解は、ソース概念の性質を可能な限りターゲット概念に移すことであると考えられる。この時、次の二つが問題になる。

(1) ソース概念のどの性質をターゲット概念に移すか、

(2) 性質が移された結果ターゲット概念はどの様に変化するか。

例えば「男は狼だ」という文を考えてみよう。概念「男」は視点表現を用いて「男\狼」と表される。そしてソース概念「狼」のある性質がターゲット概念「男」に移り、概念「男」の性質が変化する。それによりこの比喩が理解されると考えられる。筆者らは、この問題を情報理論の考え方を導入して解決しようとしている[岩山 89]。興味深いことに、岩山の計算モデルによれば、リテラルな文、比喩文、非文の三者を統一的に扱うことが可能であるだけでなく、分かりやすい比喩と分かりにくい比喩とを定量的に明らかにすることが可能である。このような視点表現を用いた言語理解の計算モデルの研究は緒についた段階にある。我々は解決の糸口をつかんだと考えているが、今後研究を粘り強く続けて行きたいと考えている。それにより、言語理解の過程に対する我々の理解が少しでも深まることになると筆者らは考えている。

- Univ. Press (1987).
- [岩山 89] 岩山真, 徳永健伸, 田中穂積: 比喩を含む言語理解における視点の役割, 情報処理学会自然言語処理研究会, 73-7 (1989).
- [Johnson 89] Johnson, M.: The Computational Complexity of Tomita's Algorithm, 203-208 (1989).
- [Matsumoto 83] Matsumoto, Y. et. al.: BUP: A Bottom-Up Parser Embedded in Prolog. New Generation Computing, 1.2, 145-158 (1983).
- [松本 86] 松本裕治, 杉村領一: 論理型言語に基づく構文解析システム SAX, コンピュータソフトウェア, 1.3, 4-11 (1986).
- [Mellish 85] Mellish, C. S.: Computer Interpretation of Natural Language Descriptions, Ellis Horwood Limited (1985), 田中穂積 (訳): 自然言語意味理解の基礎, サイエンス社 (1987).
- [Mukai 85] Mukai, K.: Unification over Complex Indeterminates in Prolog. ICOT TR 101 (1985)
- [野村 88] 野村浩郷: 自然言語処理の基礎技術, 電子通信学会編, コロナ社 (1988).
- [沼崎 89] 沼崎浩明, 田村直良, 田中穂積: 並列論理型言語による一般化LR構文解析アルゴリズムの実現, 情報処理学会自然言語処理研究会, 74-5 (1989).
- [奥村 89] 奥村学, 田中穂積: 自然言語解析における意味的曖昧性を増進的に解消する計算モデル, 人工知能学会誌 (掲載予定).
- [奥村 89] 奥村学, 田中穂積: Discrimination Net 上での増進的曖昧性解消について, 日本ソフトウェア科学会全国大会 (1989).
- [Pereira 80] Pereira, F. et. al.: Definite Clause Grammar for Language Analysis - A Survey of the Formalism and a Comparison with Augmented Transition Networks, Artificial Intelligence, 13, 231-278 (1980).
- [Pereira 87] Pereira, F. C. N. and Shieber, S. M.: Prolog and Natural Language Analysis, CSLI, Stanford Univ. (1987).
- [Ringland 88] Ringland, G. A. and Duce, D. A.: Approaches to Knowledge Representation--An Introduction, Research Studies Press (1988).
- [佐藤 89] 佐藤龍一, 田中穂積: 常識を用いた日本語連体修飾節の解析, 情報処理学会自然言語処理研究会, NL73-12 (1989).
- [Sowa 84] Sowa, J. F.: Conceptual Structures, Addison-Wesley (1984).
- [田中 88] 田中穂積, 辻井潤一 (編著): 自然言語理解, オーム社 (1988).
- [田中 89] 田中穂積: 自然言語解析の基礎, 産業図書 (1989).
- [徳永 88] 徳永健伸, 岩山真, 田中穂積, 上脇正: 自然言語解析システムLangLAB, 情報処理学会論文誌, 29.7, 703-7011 (1988).
- [Tokunaga 88] Tokunaga, T. et. al.: LangLAB: A Natural Language Analysis System, Proc. of COLING88, 655-660 (1988)
- [徳永 89] 徳永健伸, 奥村学, 田中穂積: 概念階層への視点の導入, 情報処理学会論文誌, 30.8, 970-975 (1989).
- [Tomita 87] M. Tomita: An Efficient Augmented-Context-Free Parsing Algorithm, Computational Linguistics, 13, 1-2, 31-46 (1987).
- [Ueda 85] Ueda, K.: Guarded Horn Clause, Proc. of the Logic Programming Conf., Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag (1985).
- [Winograd 86] Winograd, T. and Flores, F.: Understanding Computers and Cognition, A New Foundation for Design, Ablex, Norwood (1986). 平賀誠訳: コンピュータと認知を理解する, 産業図書 (1989).