

交通規則文に関する質問応答システム LICENCE における 日本語文から一階述語論理式への変換[†]

中 川 聖 一^{††} 竹 本 信 治^{††} 田 口 勝 豊^{††}

運転免許の学科試験に出題される問題文の真偽を判定する質問応答システム LICENCE (Legal InferenCE system for Novice Car Examination) において、入力された日本語文を様相オペレータを含んだ一階述語論理式へ変換するシステム PL-TRANS (Predicate Logic TRANslation System) について述べる。日本語を一階述語論理式へ変換する際には、1) 省略語の補完、2) 変数の限量作用素・スコープの範囲の決定が問題となる。PL-TRANS では、入力文を格文法に基づいた意味ネットワーク表現に変換した段階で、省略語の補完を行う。このときデフォルト値を使って補完を行うが、補完できない場合にはシステムから省略語に対する問い合わせを行いユーザの応答から省略語を補完する。省略語を補完した意味ネットワークが完成した際に、意味ネットワークから文を生成して意味解析が正しく行われたかどうかをユーザに確認を行う。意味ネットワーク表現がアークとノードといった簡単な形式で表現されているために、新情報の結合が簡単に行える。また、2)の限量作用素は、対象とした領域の領域知識として単一／複数の判断基準で階層化された名詞の概念階層に意味ネットワークのアーク名による変換規則を用いて決定する。すなわち、辞書中での表現にも意味ネットワークを用いることによって、対象領域中での一般的知識と入力文固有の情報を利用することによって限量作用素を決定する。また、スコープの範囲は意味ネットワークのアークの結合関係の情報を用いて同一名の変数に注目し、分配則を逆に適用することによって限定する。

1. はじめに

日本語をマンマシンインタフェースに用いるためには、入力文を計算機が理解できる表現に変換する必要がある。本論文では、計算機内の意味表現として義務オペレータ、意図オペレータ、時制オペレータを含んだ一階述語論理表現を選定し、入力された日本語文を一階述語論理式に変換するシステム PL-TRANS (Predicate Logic TRANslation System) について述べる。

自然言語から直接述語論理式を導く手法にモンターギュ文法¹⁾があるが、1)モンターギュ文法が範疇文法²⁾に基づいており文法的制約がきついこと、2)日本語では普通、動詞の格要素のいくつか省略されたり、「すべての」や「ある」といった限定詞があまり使用されないことなどにより、限量作用素の選択やスコープの範囲の決定は困難であり、日本語処理には不利である。一般に日本語を扱うシステムにとって、1)省略語の認識・補完、2)述語論理式の変数の限量作用素の決定やスコープの範囲の決定が問題となる。1)は入力文の意味が理解されて初めて可能となる処理であるため、省

略語の補完はシステム内の意味表現に対して行われるべきである。しかし、述語論理表現に直接補完するためには、同一対象を示す述語間の引数について変数名を一致させる処理が必要となり、言語理解の過程を複雑にするだけでなく、スコープの範囲を決定することや、新しい述語を挿入する必要が生じた場合にそれらを結合する論理演算子を決定することが難しい。

PL-TRANS は、上記観点から論文 6) で述べられている質問応答システムの構文解析部と意味解析部を以下の点を改良・拡張したものである。かつて内にその目的を示す。

- 1) 文の入力に平仮名および片仮名を用いる (片仮名の情報を用いた曖昧性の削減)
- 2) 文節の探索に拡張 LINGOL を適用 (処理速度の改善)
- 3) 文の意味を中間的に意味ネットワークで表現する (省略語の補完の冗長性および不自然さの改善)
- 4) ユーザに省略語の内容を問い合わせる (省略語の内容が推定不可能な場合の補完の保障)
- 5) 領域に依存した名詞概念階層を導入する (対象とする領域での正しい限量作用素の決定)

3)で用いた意味ネットワークはその構造の単純さからノードの追加・削除が容易であることが知られている。したがって、省略語の補完には入力文を述語論理表現に変換する前に、格文法に基礎をおく意味ネット

[†] Translation from Japanese Sentence to First Order Predicate Calculus in Question-Answering System for Traffic Regulation LICENCE by SEIICHI NAKAGAWA, SHINJI TAKEMOTO and MASATOYO TAGUCHI (Department of Information and Computer Science, Toyohashi University of Technology).

^{††} 豊橋技術科学大学工学部情報工学系

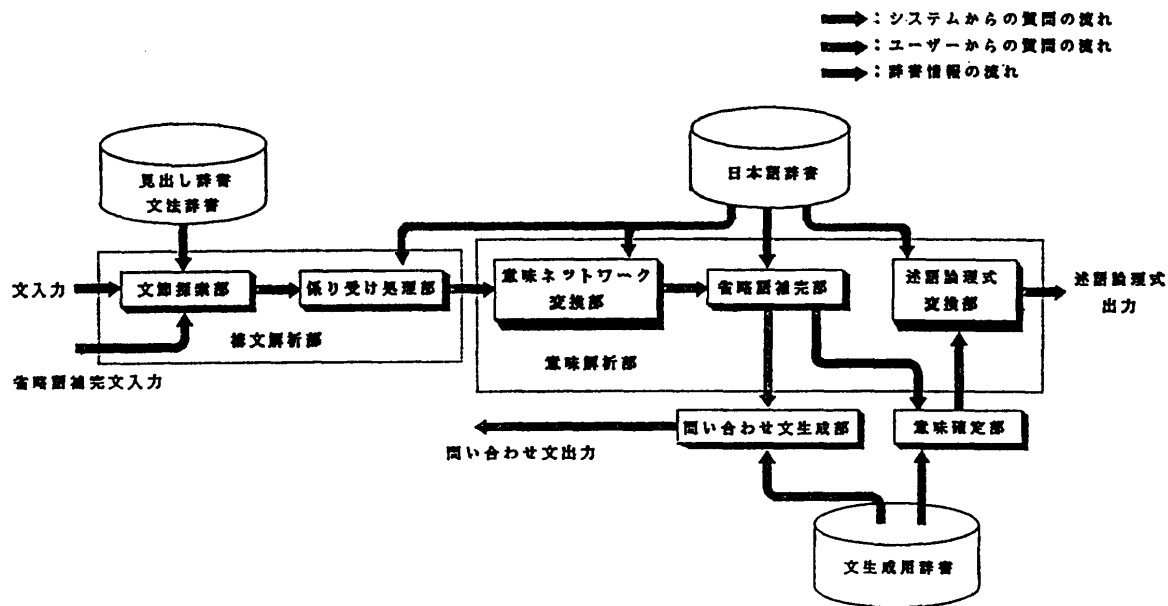


図 1 解析システムの全体構成

Fig. 1 Overall configuration of the Japanese analysis system.

ワークに変換して省略語の補完を行うことが有利な手段となる。また、5)では意味ネットワーク上の同一変数は述語論理式中では同じ対象を示すと定義することによって、論理式への変換時にこの定義の知識を用いることが可能となる。したがって、述語論理式の定理の分配則を逆向きに適用して意味ネットワークの構造からスコープの範囲を一意に変換することができる。さらに、辞書と文の意味ネットワークとの類似的な知識表現法を用いているため、辞書までも含めた情報を使用することができ、領域に依存した知識を基に限量作用素が決定される。

一方、省略語が推定不可能な場合、PL-TRANS は質問文を生成してユーザに問い返し、対話的に正確な語を同定する。また、多数の文解析結果の候補が得られた場合にはユーザに各々の意味を提示し、ユーザの意図にあった内容の解析を選択させる。

なお、本論文では、交通規則文の質問応答を例にとり説明する。本論文の文生成と述語論理の限量子とスコープの決定法は、Allen の文献¹⁾に紹介されていた方法を本論文の世界に限定してインプリメントしている。文献 1) では実際のシステムにはインプリメントされていないものである。

2. 日本語解析システム PL-TRANS の全体構成と解析過程の概略

PL-TRANS の全体構成を図 1 に示す。

PL-TRANS は、構文解析部、意味解析部、問い合わせ文生成部、意味確定部の 4 つの処理系と、見出し辞書、日本語辞書、文法辞書、文生成用辞書の 4 つの辞書部から構成される。さらに、構文解析部は文節探索部および係り受け処理部に分けられ、意味解析部は意味ネットワーク交換部、省略語補完部、述語論理式交換部の 3 部から構成される。各部の処理の概略を以下に示す。

1) 文節探索部

入力された文を拡張 LINGOL⁴⁾ を用いて文節に分割し、スタックに積む。旧システム⁶⁾では、トップダウンに解析を行っていたが、拡張 LINGOL を用いることで約 3 分の 1 の時間の短縮ができた。入力文の一般形式および実例を図 2 に示す。この図を見るとわかるように、句読点や空白といった区切り記号の情報を使得ってリスト形式で表す。

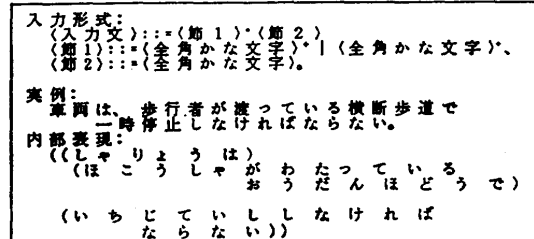


図 2 文節探索部の入力形式と実例

Fig. 2 Input formula and executed example in BUNSETU search part.

2) 係り受け処理部⁶⁾

1)で得られたスタック内の文節に係り受け規則に基づいて木構造に変換する。解析木の一般形式と実例を図3に示す。ここで、RT-FORM i は連体修飾の5種類の分類のうち、 i 番目の種類であることを表している。例えば、RT-FORM 1 は第1番目、非修飾名詞が修飾用言の格になっている場合の連体形であることを表している。

複文「A (接続詞) B」の解析は、接続詞によってAがBに表1のどのパターンで係っているかを行う。

3) 意味ネットワーク変換部

連体修飾および「の」の解析¹⁰⁾を行いながら、格文法を基礎とした意味ネットワーク表現に変換する。結果の実例を図4に示す。以下本論文では、対象を持つ概念には楕円を用い、特定の対象は長方形で、イベントなどの抽象的な概念は斜線の入った楕円で表現する。

4) 省略語補完部

3)で得られた意味ネットワークに自立語用言の必須

表1 複文の基本的パターン

Table 1 Fundamental pattern of complex sentence.

従属文-主文
原因-結果
条件-結果
目的-方法
方法-目的

出力形式:
 {句} ::= ((種類) (単語) (句)*)
 {種類} ::= 文 | WHEN | が | の | RT-FORM 1 ...
 実例:
 (文 SN 一時停止 (HV する ASP MUST)
 (で GN 横断歩道 (KJ で)
 (RT-FORM 1 VC 渡る (HV いる)
 (が GN 歩行者 (KJ が)))
 (が GN 車両 (KJ が)))

図3 構文解析部の出力形式と実例

Fig. 3 Output formula and executed example in syntactic analysis part.

入力文: 歩行者が横断歩道を渡っているとき、
 車両は一時停止しなければならない。

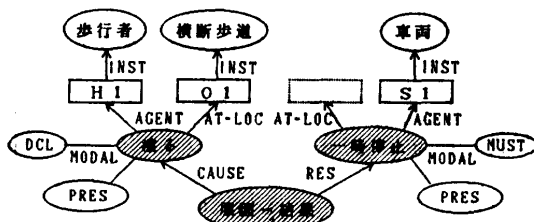


図4 意味ネットワーク表現変換結果

Fig. 4 Result of translating to the semantic network expression.

格構造を適用することによって省略語を認識し、省略語補完規則によってデフォルト値を推論して補完する。図4に示すように、以下点線で囲まれた部分を省略語と認識された部分として表す。照応に関しては、ここでは入力文が1文と限られているので比較的容易に行えるので、説明は省略する。

5) 問い合わせ文生成部

4)でデフォルト値が推論できなかった場合、すなわち省略語補完規則が存在しないかまたは適用不可能な場合には、省略語の位置情報から、ユーザにその内容を探る文を生成する。

6) 意味確定部

すべての意味候補に対し省略語の補完を行った後、各々の意味ネットワークが意味する内容を自然言語に逆変換してユーザに提示し、正しい解釈を決定させる。この生成文に曖昧の問題がでてくるが、正解文はユーザにとっては曖昧さがないのでこの問題は無視できる。

7) 述語論理式変換部

意味確定部において選択された意味ネットワークを一階述語論理式に変換する。述語論理式の一般形式と

出力形式:
 {述語式} ::= ((prefix1) (述語式)*)
 {prefix1} ::= ((prefix2) (補助接相) (述語式))
 {prefix2} ::= ((述語名) (引数)*)
 {述語名} ::= (実数) : (定数域) | must | impl | and | not | ...
 {引数} ::= must | impl | and | not | ...
 {prefix2} ::= want
 実例:
 (impl ((X2:歩行者) (渡る x2 横断歩道))
 ((X1:車両) (一時停止 x1 横断歩道)))

図5 意味解析部の出力形式と実例

Fig. 5 Output formula and executed example in semantic analysis part.

一般形式:
 {フレーム名} ::= ((フレーム名) (スロット)*)
 {フレーム名} ::= ((見出し語)
 {スロット} ::= ((スロット名) (ファセット)*)
 {スロット名} ::= (AKO | APO | CAT | HAS | ...
 {ファセット} ::= ((ファセット名) (値)*)
 {ファセット名} ::= VALUE | IFADD | IFNEED | ...
 実例1:
 (GN_車両 (AKO1 (VALUE 非設置物))
 (AKO2 (VALUE 半自立))
 (AKO3 (VALUE 全体部分))
 (ATTR (VALUE 全長 車幅 高さ))
 (PROV (VALUE 水平 2次元))
 (JYUTU (VALUE 車両))
 (HAS (VALUE 馬力 視界))
)
 実例2:
 (SN_合図 (意志性 (VALUE YES))
 (アスペクト (VALUE 継続))
 (結果性 (VALUE YES))
 (移動性 (VALUE 情報 AGENT THEME))
 (作用性 (VALUE AGENT INST NO))
 (表層格構造 (VALUE (1 3) (ISA 人間))
 (格パターン (VALUE がに)))
)

図6 日本語辞書の一般形式と実例

Fig. 6 General formula and examples of the Japanese dictionary.

実例を図5に示す。

上記1)~4)の処理をバックトラックすることによって、すべての意味を抽出し、その中の意味確定部で選択された意味ネットワークだけが一階述語論理表現に変換される。したがって、得られた解釈は最終的には1つに絞られる。

3. 辞書情報

3.1 辞書の構成と形式

PL-TRANSは、図1に示される4つの辞書を使用する。見出し辞書は文法辞書とペアで用いられる⁶⁾。文法辞書が非終端記号のみで記述されるCFGであるのに対し、見出し辞書は非終端記号と終端記号を結び付けるCFGで構成される。また、文生成辞書は時制、様相、否定の3つの情報から検索される付属語結合規則であり、文法はATNで記述されている。

一方、日本語辞書はフレームを用いた属性リストで、語の意味情報をすべて記述しており、システムの性能を左右する最も重要な辞書である。解析結果の助詞とこの辞書の意味情報を用いて、表層格と深層格の対応をとっている。一般形式と実際例を図6に示す。単語の意味情報の項目は品詞により異なる。

代表的な品詞について以下に記述する⁹⁾。

1) 名 詞

名詞は、図7⁹⁾に示されるような異なった3種の判別基準に従って形成される概念階層木を構成し、概念間には表2⁹⁾の7種類の意味関係を導入している。これは、文献8)のものに“others”(別の物と区別することを強調するため)を付け加えている。

実例を図8に示す。

2) 動詞・形容詞、形容動詞

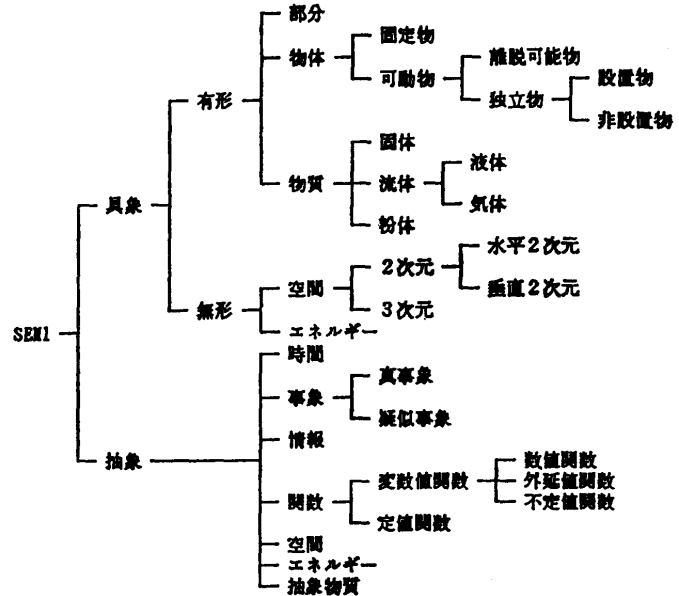
これら3品種の辞書項目はすべて同一であり、それらの属性名と属性値を表3⁹⁾に示す。

3) 付 属 語

PL-TRANSでは、付属語は助詞と助動詞の2カテゴリーに大別される。属性名を表4に示す。

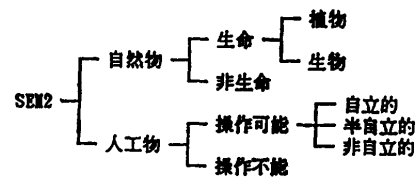
3.2 動詞間関係

可能動詞や使役動詞と、対応する原型動詞の関係の処理手法には様々な手法があるが、PL-TRANSでは



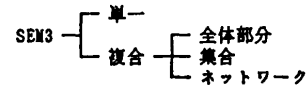
(a) 名詞の概念階層 (1)

(a) Conceptual hierarchies of nouns (1).



(b) 名詞の概念階層 (2)

(b) Conceptual hierarchies of nouns (2).



(c) 名詞の概念階層 (3)

(c) Conceptual hierarchies of nouns (3).

図7 3つの名詞の概念階層

Fig. 7 Three conceptual hierarchies of nouns.

表2 意味ネットワーク上の概念間の関係
Table 2 Relationships between concepts in semantic network.

リンク名	意 味
PROV	対象-提供概念
APO	部分-全体
ATTR	属性名-対象
AVO	属性値-属性名
HAS	対象-抽象的所有物
OTHERS	対象-提供概念
UNIT	単位-属性名

意味の部分と原型動詞と補助動詞等の属性のリストで表現する。図9の実例3に具体例を示す。リスト内の

表 3 自立語用言の辞書情報^{*)}
Table 3 Lexical data and their descriptions for verb, adjective and adverb.

属性名	属性値
意志性	有, 部分的, 無, 動作格に依存
アスペクト	状態, 準状態, 瞬間, 継続
結果性	有, 無
移動性	(対象 起点 終点 場所)
作用性	(作用対象 非作用対象 自律性)
表層格構造	((格 強度 意味規定)*)
格パターン	が, がを, がに, にが, がをに
必須格構造	(格*)

表 4 付属語の辞書情報
Table 4 Lexical data and their descriptions for a particle and an auxiliary verb.

助 詞	潜在格, 品詞
助 動 詞	動詞への接続可能性 接続した際の格構造変換規則

すべての属性を動詞が持つことにより, 原型動詞の解析と同様に扱える。

3.3 多義語の表現

PL-TRANS では, 多義語を図9を見出し辞書の実例2のような二重リストで表現する。これはリスト内のリストのうち, いずれかが正しいという意味である。このリスト内のそれぞれの要素に対しバックトラックを用いて, 他の文節の処理と同様の処理形式が適用できる。

4. 意味ネットワークへの変換

意味ネットワーク変換は, 自立語用言の格要素を表す格フレームに入力文の値を割り付けることに相当する。すなわち, 助詞の潜在格と自立語用言の深層格の対応を取り, ネットワーク形式で表現する。

PL-TRANS では, 意味ネットワークのアークの結合は格文法に基づいている。ここで使用する格は以下の8種類¹²⁾である。

- 1) 動作主格 (動作を行う主体となるもの: AGENT)
- 2) 対象格 (動作の対象となるもの: OBJECT)
- 3) 目標格 (動作の目標となるもの: GOAL)
- 4) 源泉格 (動作の起点となるもの: SOURCE)
- 5) 理由格 (動作のなされた理由: REASON)
- 6) 道具格 (動作を補助する手段: INSTRUMENT)
- 7) 場所格 (動作のなされる場所: AT-LOC)

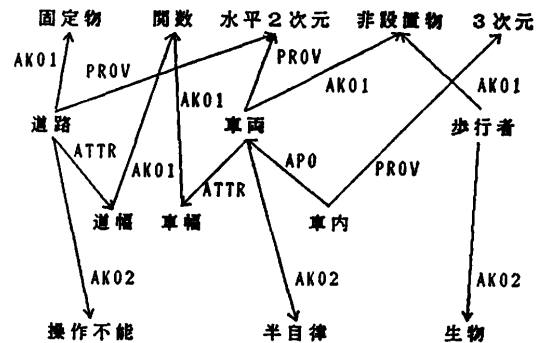


図 8 名詞概念階層間の意味ネットワーク例
Fig. 8 Example of semantic network between conceptual hierarchies of nouns.

一般形式:	
見出し	::: (文字列) (カテゴリ) (見出し語)
文字列	::: あ い ... ん ち ... び
カテゴリ	::: GN SN ADJ GG ... WG
実例 1:	(車両 GN GN_車両)
実例 2:	(警察官 GN ((GN_警察官 GN_警察署)))
実例 3:	(書け IC (XG1_書く HV_できる))

図 9 見出し辞書の一般形式と実例
Fig. 9 General formula and examples of headwords in dictionary.

8) 時格 (動作のなされる時間: TIME)

PL-TRANS では上記 1)~8) の8種類の格フレームに, (9)起点場所格 (移動の開始される場所: FROM-LOC), (10)終点場所格 (移動の終了する場所: TO-LOC) を加えたものを解析時に使用する。また, 3)~5) および 8) に対しては複文構造に変換し, 各々の内容を条件節として取り扱う。具体的な, 自然言語の表現としては(3), (5)は「~のため, ~ならば」, (8)は「~のとき」などがあげられる。

しかし, 潜在格と深層格の対応は必ずしも一対一に成立せず, 解釈の曖昧性を増加させることが多々存在する。例えば, 「~ならば, ~のとき」等に対しては, 条件節(→), 逆条件節(←), 双条件節(⇔)等の曖昧性が伴い, 名詞節での「~や」には, 論理和 (OR), 排他的論理和 (XOR), 論理積の否定 (NAND) 等の曖昧性が生じる。

さらに, 上記曖昧性に加え, 複文の解析時には, その複文間の関係の曖昧性や, 係る順序の決定に曖昧が残る。例えば, 「A のとき B ならば C する」のような条件節が2重に係る場合である。これは, (1)「((A のとき) B ならば) C とする」, (2)「(A のとき (B ならば C する))」, (3)「((A のとき) C する) ((B のとき) C する)」(2つの独立の条件節ができる)等の曖昧性を生じてしまう。

他に, 同じ名前を持つ対象が同じ対象であるか異な

った対象であるかの曖昧性が生じる。このとき、指示詞・代名詞で同じ対象であることを示している場合以外は同じ対象である解釈と、異なる対象である解釈の2つの解釈をする。

したがって、簡単な文章でもここまでの解析で数種類の解釈がなされるのが普通である。PL-TRANSではこの問題に対し、すべての解析候補を出力し、ユーザの選択によって正しい解を得て、その正しい（とされた）解だけを様相一階述語論理表現に変換して推論を行う。すなわち、意味ネットワーク表現に変換された段階で、入力された文章は様々な意味に分解されており、各々の表現は互いにユニークとなっている。

5. 省略語の補完

5.1 省略語の認識

一般に、文内において述語の必須格・任意格要素および意味的限定を必要とする名詞に係る文節が頻繁に省略される。入力文の正誤を推論するとき必須格要素と意味的限定を行う文節の省略を認識する必要がある。

前者の省略は、動詞または述語の必須格構造を用いて検出することができる。意味ネットワーク変換部の出力に必須格がなければ空スロットであると判断し、文節が省略されていると判断する。後者の場合は、図7(a)の名詞概念階層の中にある「部分」の下位概念に含まれる名詞のその「上位部分」あるいは「全体」が表現されていない場合と、「関数」の下位概念に含まれる名詞の引数となる部分が入力文中のその語の直前に現れていない場合に相当する。

5.2 省略語の推定（デフォルト値の決定）

上記の手順により検出された省略語の推定には、日本語辞書内の各格に対するデフォルトの情報を用いる。単語間共起関係の情報は日本語辞書中のフレームに記述される。図10に一般形式と実例を示す。

この情報は、代入の対象である〈代入格〉に、参照したい格〈参照格〉とその〈意味規定部〉が一致した場合、〈代入語〉がデフォルト値として推定されることを意味する。ここで、〈参照格〉以降の繰り返しは優先順にしたがって配列されており、〈参照格〉は現在問題となっている述語のみに限らず、他の従属文の対応する格への参照も可能である。また、〈代入語〉のTは、〈参照格〉の内容をそのまま〈代入語〉として使用することを意味する。

解析結果の例である図11の点線部分はこの方法で

```

一般形式:
((〈代入格〉)((〈参照格〉)(〈意味規定部〉)))
(〈代入格〉)::= AGENT | AT-LOC | THERE | ...
(〈参照格〉)::= AGENT | AT-LOC | THERE | ...
(〈意味規定部〉)::= ((〈演算子〉)(〈意味規定部〉))
| ((〈演算子〉)(〈意味規定部〉))
(〈演算子〉)::= AND | OR | PROV | ISA | HAS | ...

実例:
(VG-走る (IFADD(VALUE
  (AT-LOC((AGENT (ISA GN-歩行者))
    GN-横断歩道)))
(SN-一時停止 (IFADD(VALUE
  (AGENT ((ANY (ISA GN-車両)) T)
    ((ANY ANY) GN-車両))
  (AT-LOC((AT-LOC (ISA GN-横断歩道)) T)
    ((AT-LOC (ISA GN-自転車横断帯))
      T)))
)))
  
```

図10 省略語推定用辞書の一般形式と実例

Fig. 10 General formula and examples of the dictionary to infer an ellipsis.

入力文：車両は発達するとき、
他車に合図しなければならぬ。

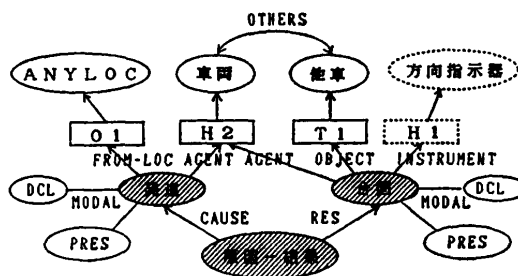


図11 意味ネットワーク表現変換結果

Fig. 11 Result of translating to the semantic network expression.

推定されたデフォルト値である。

5.3 ユーザへの問い合わせ文生成

前節では省略語の推定方法を述べたが、本節では省略語が単語共起関係から推定できなかった場合のユーザへの問い合わせ文の生成方法について述べる。

省略語の多くは述語の必須格要素と意味的限定を必要とする名詞に係る文節であることは前に述べた。PL-TRANSでは、前者に対する問い合わせ文を「～するのは何ですか?」という形式で生成する。これは、「～が(に、を)～するのですか?」等の質問形式よりも格の内容を聞きたいという意味が強調されており、文体も自然であると思われるからである。一方、後者については、「何の「名詞」ですか?」という質問形式を採用する。質問文の生成は、入力文が単文の場合はそのままのネットワークを、複文の場合は、省略語のある側の単文のネットワークを取り出し、主動詞にあたる述語にアーク“MOOD”を付け加え、その先にノード“wh-question”を付け加える。そして、後に述べるATNで質問文を生成する。

5.4 ユーザからの応答の代入

ユーザからの様々な形式の応答文の吸収が問題であるが、問い合わせ文は問題文の省略語を埋める目的を持つこと、一階述語論理からの制約により格の内容に事象を取り得ないことから、応答文を対象を答えるもののみに制約し、問い合わせ文の一部を繰り返すものと、「～です」に準ずる表現で答えるものの2種類に限った。

前者のタイプでは、応答文は係り受け処理によって意味規定等の一致が確認されているため、問題文と応答文のネットワーク表現をユニフィケーションすることによって省略語を補完する。

後者の場合、応答文「～は…です」を「～と…は等しい」として意味解析して、図12に示すような2つのアークを持つ「等しい」という述語を導入し、一方のアークに代入語を割り当てる。そして他方のアークには、省略語の位置の意味規定、すなわち、自立語用言の格の意味規定を割り当てる。代入語がこの意味規定を満足したとき、「等しい」という述語を取り去り、代入語を格に結合する。意味規定の一致が認められなかった場合、もう一度ユーザに同じ問い返しを行い、間違った省略語を補完することに歯止めをかけている。

6. 意味確定部

複数候補の文解析結果の意味ネットワーク表現が完全に補充されたと判断した場合、システムはそれらの意味ネットワークからそれぞれ対応する日本語を生成し、ユーザに意味を確認・選択させる。ここでは生成される日本語文は、各々の意味ネットワークの意味の違いをはっきりとユーザに知らせることが目的であるため、必ずしも自然な日本語である必要はない。

6.1 文生成用文法

意味ネットワークから文を生成するための文法として ATN を使用した。図13に例を示す。

この ATN では、2つのスタックレジスタ (pointer, case) を使用している。そして、このスタックレジスタの内容を入力条件として ATN は選択される。この ATN の選択とその遷移は、構文解析結果が使えるので、一意に行われる。

例えば、SSで始まる ATN を選択するとき、入力条件として pointer = “ノード: 渡る”, case = “CAUSE” が与えられたとすると、辞書情報の動詞 “渡る” のテ

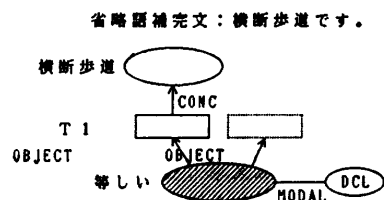


図12 省略語補完文の意味ネットワーク表現
Fig. 12 Semantic network expression of the sentence to supplement the eliminated word.

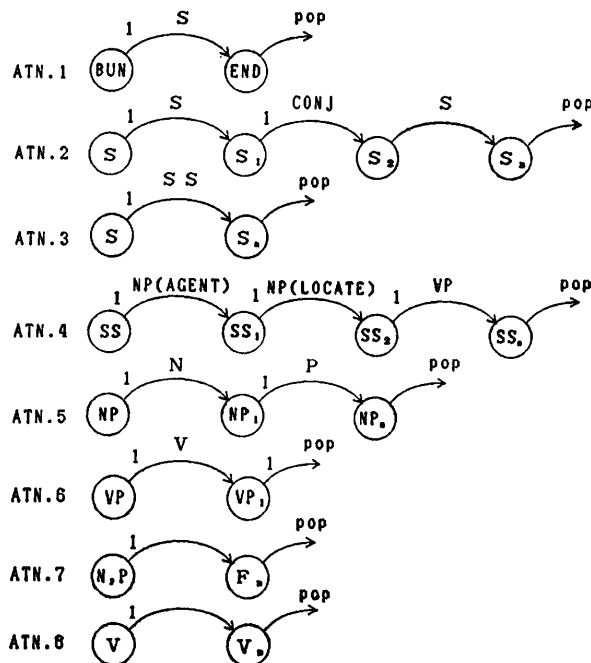


図13 確認文生成用 ATN
Fig. 13 ATN grammar for generation.

ンプレート (渡る AGENT AT-LOC) から ATN. 4 が選択される。

遷移は状態名とアークの番号を “_” でつないだもので表す。例えば、遷移 S_1 という記号は ATN の状態 “S” からアークにつけられた番号 “1” の遷移を表している。

6.2 文生成

本論文での意味ネットワークから ATN を用いて文を生成する方法は文献 1) を参考にして、ATN とシステミック文法を組み合わせた生成法を用いた。これは、1つの ATN を 1 システムと考えて、システムの入力条件で ATN を選択する方法である。そして、動詞の必須格に対する制限 (図7の属性) を持たせておかしな単語が選ばれないようにしている。他に意味ネ

ットワークから文生成は、文献 12) 等で述べられている。本論文での生成法を以下に述べる。

まず最初に pointer レジスタにトップノードを、case レジスタには“nil”をプッシュする（レジスタの初期化）。そして、“BUN”で始まる ATN (図 13 の ATN. 1) を動作させる。そして、これが受理されたとき文生成が成功する。ATN の動作は、そのときの遷移によって pointer, case レジスタに新しい値をプッシュするか、そのときの値を保持したまま遷移を行う。ATN の遷移は、アーク上の記号で始まる ATN が受理されたとき、または図 13 の ATN. 7 のように pointer レジスタの示すノード名（例えば、名詞・助詞など）を返すとき成功する。ATN の選択は、最初の状態名と入力条件によって決定される。

この生成の例を図 13 の ATN と図 14 の意味ネットワークを用いて以下に示す。まず最初に pointer レジスタに N0 をプッシュして ATN.1 を動作させ、BUN. 1 の遷移を行う。このとき、BUN. 1 のアークに“S”のマークがある。これから、“S”で始まり pointer レジスタの内容（現在 N0: 原因-結果）を入力条件とした ATN が受理されれば、BUN.1 の遷移が成功し、結果がポップされる。

“S”で始まり、入力条件（原因-結果）を満たす ATN は、図 13 の ATN. 2 であるので次にこれを動作させる。この ATN の遷移 S.1 を行う前に pointer レジスタに N1 をプッシュし、case レジスタには“CAUSE”をプッシュする。そして、S-1 にマークされている“S”で始まり pointer, case レジスタの内容（N1: 渡る, CAUSE）を入力条件とする ATN. 3 を動作させる。以下同じように ATN を動作させていくと“歩行者が横断歩道を渡る”が得られ、レジスタ (pointer, case) をポップして前の値を取り戻す。ATN. 3 は受理され、ATN. 2 の遷移 S.1 が成功し状態 S₁ に移り、次に遷移 S₁.1 を行い“とき”が得られ、状態 S₂ に遷移する。同様に遷移 S₂.1 を行くと“車両は停止線で一時停止しなければならない”が得られて、状態 S_n に遷移する。

ATN. 2 は受理されてポップし、ATN. 1 も受理される。最終的に“歩行者が横断歩道を渡る時、車両は停止線で一時停止しなければならない。”が生成される。5.3 節の質問文の生成もこれと同じ方法で生

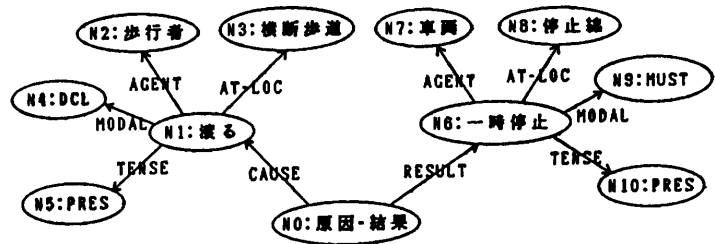


図 14 意味ネットワークの例

Fig. 14 Example of semantic network.

表 5 各リンクの変換規則

Table 5 Translating rules of each link.

リンク	変換規則
PROV	特になし
APO	述語, APO (全体概念, 下位概念) を追加
ATTR	関数, f-属性名 (対象) を追加
AVO	述語, 属性名 (属性値) を追加
HAS	述語, HAS (対象, 抽象的所有物) を追加
OTHERS	述語, NOT-EQUAL (矢尻概念, 矢先概念)
UNIT	関数, f-属性名 (属性値) を追加

成される。意味確定の場合は、意味ネットワークから忠実に文を生成するが、質問文生成の場合には、できるだけ自然に短い文を生成する。そのために、互いに同種の格要素がネットワーク上に存在し、それらの格要素が異なる対象が表しているときにはそれらの格要素と疑問詞が代入される格要素以外のアークにマーク“?”を付け、生成の際にそのマークがある場合は無条件遷移を行う。

7. 述語論理表現への変換

ユーザへの応答などでネットワーク表現が完全に完成されたと判断した場合、システムはそのネットワークを様相演算子を含んだ一階述語論理表現に変換する。

ステップ 1 : 変数の限量作用素の決定とスコープの範囲を決定するために、表 5 の変換規則を満足しながら、意味ネットワークのトップノードから再帰的に変換する。これらの決定法は、従来の方法¹⁾を交通規則の世界という狭い世界で特殊化したものとなっている。

APO リンクで結ばれるノードについては述語“APO”を生成して全体概念と下位概念の関係を記述する。OTHERS リンクは特別な述語“NOT-EQUAL (矢尻概念, 矢先概念)”という述語を生成して他の述

語と AND で結合させ、下位概念は上位概念に従属するものとみなして、上位概念を全称作用素： $\neg$ 、下位概念を存在作用素： $\exists$ とする。例えば図 11 の例文で、車両は全称作用素がかかるが、その車両以外の車両（他車）には存在作用素がかかる。また、すべての全称作用素間の従属関係は、テンプレートの引数の順序を基準として配列される。

ここで、1つの制約条件を適用する必要がある。図 7(c) に示される第 3 の名詞概念階層で、単一名詞に分類された名詞は必ず $\neg$ の制限を受けなければならない。これは、集合概念を示す名詞に対し、単一名詞が文中で使用されるときは必ず特定の対象を示すからである。

ステップ 2：同じ変数を論理式の前部にくくり出す。

これには以下の定理に基づいて対処している。生成された述語論理式に再帰的に適用する。

$$\begin{aligned} \neg x \{P(x) \rightarrow Q(x)\} &\rightarrow \{\neg x P(x) \rightarrow \neg x Q(x)\} \\ \neg x \{P(x) \rightarrow Q(x)\} &\downarrow \{\neg x P(x) \rightarrow \neg x Q(x)\} \\ \neg x \{P(x) \rightarrow Q(x)\} &\rightarrow \{\neg x P(x) \rightarrow \neg x Q(x)\} \\ \neg x \{P(x) \rightarrow Q(x)\} &\rightarrow \{\neg x P(x) \rightarrow \neg x Q(x)\} \end{aligned}$$

PL-TRANS では、この定理を逆に利用する。すなわち、 $\{\neg x P(x) \rightarrow \neg x Q(x)\}$ がステップ 1 で得られているときは、元の文の意味が $\neg x \{P(x) \rightarrow Q(x)\}$ であったと仮定する (Abduction)。本来、述語論理式の公理体系では、 $\neg x P(x)$ の x と $\neg x Q(x)$ の x とは異なった対象を示しており、この変換は、(第 2 の定理を除いて) 論理式の意味を変えていることになる。しかし、PL-TRANS では意味ネットワーク上で同じ変数を用いて表現された対象は、常に同一対象でなければならない。したがって、 $\neg x P(x)$ の x と $\neg x Q(x)$ の x とは同一物を示していると仮定して、すなわち、上記の定理の左辺が文の元の意味であると仮定して、同一変数を論理式の前にくくり出す。

ステップ 3：残りの変数を順序の変更なしに前にくり出す。なお、ステップ 1 で求められた論理式の変数の順序は入力された文節の順番に依存して決定され、補完された省略語は従属される側に配置する。

以上のような 3 段階の処理で、意味ネットワークを様相一階述語論理式に変換する。図 11 の意味ネットワークから述語論理式への変換例を図 15 に示す。

まず、トップノード「原因-結果」のノードから探索する。このノードは、CAUSE の格を条件部に、

```

STEP1:
 $\neg X1$ :車両 WANT {運転者(X1), 発進(X1,道端)}
 $\rightarrow \neg X1$ :車両  $\neg X4$ :車両
      (NOT-EQUAL(X1,X4) & 合図(運転者(X1), 道端, X4, 方向指示器(X1)))

STEP2:
 $\neg X1$ :車両
[WANT {運転者(X1), 発進(X1,道端)}
 $\rightarrow \neg X4$ :車両 (NOT-EQUAL(X1,X4)
      & 合図(運転者(X1), 道端, X4, 方向指示器(X1))) ]

STEP3:
 $\neg X1$ :車両  $\neg X4$ :車両
[WANT {運転者(X1), 発進(X1,道端)}
 $\rightarrow$  (NOT-EQUAL(X1,X4) & 合図(運転者(X1), 道端, X4, 方向指示器(X1))) ]
  
```

図 15 意味ネットワークから論理表現への変換
Fig. 15 Example of translation from semantic network to logical form.

RESULT の格を結論部に位置づけ、(CAUSE 格 $\rightarrow$ RESULT 格) という全体構成を生成する。次に、各々の格に対し動詞の必須格構造を参照しながら作用素の決定をとまって述語に変換していく。

「発進」および「合図」の述語テンプレートは、(発進 AGENT FROM-LOC), (合図 AGENT AT-LOC THEME INST) である。したがって、発進の格要素の従属関係は、 $\neg X1 \neg X2$ (図 15 において $X2$ は道端を表す) となり、合図の格要素は $\neg X1$ および、 $\neg X2$ に従属する $\neg X4$ から、 $\neg X1 \neg X4$ となる (STEP 1)。

PL-TRANS では、これらを扱いやすくするために、多ソート論理の表現形式を中間的に導入している⁷⁾。

次に、これらの変数のスコープの範囲を決定する。この決定には、述語間での同じ変数の使用に注目する。

図 11 の例では、注目する変数は $\neg X1$ である。そして、この変数を全論理式の左部に引き出すわけであるが、そのときにその変数をスコープの範囲内に持っている変数、すなわち、その変数より前に位置する変数部もともに引き出す (STEP 2)。

上記の手続きを繰り返し、最後に残った変数を STEP 2 までで引き出した変数の右側に位置づけて、意味解析結果とする (STEP 3)。なお、「 $\rightarrow$ 」の前件部は論理式の前に引き出すときに、 $\neg$ と $\neg$ を交換する。これは、論理式の公理にマッチングする変換である。また、図中の様相演算子 WANT は第 1 引数までを含めて様相を表している。

このようにして求めた論理式は、PL-TRANS の解釈した意味表現として出力される。通常、入力された文はここまでの処理で 5~10 個の曖昧性を出力し、1つの意味を解釈するのに要する時間は平均 3 分程度 (Apollo DOMAIN 3000, Common LISP) である。

8. 結 論

本論文では、述語論理式への変換過程において中間的に意味ネットワーク表現を用いて省略語の補完を行い、述語論理式での限量作用素の決定やスコープの範囲の限定を容易に扱うことのできる PL-TRANS の処理方法について述べた。

意味ネットワーク表現は、追加、削除を容易に行うことができる性質を持っている。PL-TRANS ではこの性質を用いて、省略語の追加を各々の述語について意味ネットワーク上で独立に処理した。また、述語論理式の限量作用素は、領域依存知識としての名詞の概念階層と、7つのアークにより結合された意味ネットワークを用いて決定した。さらに、変数のスコープの範囲は、意味ネットワーク上で同じ対象を同じ変数名で表すことにより、2項間または3項間以上の関係を調べることなく、限定を行うことが可能となった。

限量作用素やそのスコープの範囲の決定をボトムアップ的手法だけで解析することは一般に困難であるが、本論文で述べた手法は LICENCE のような対象世界を交通規則文に限ったシステムにおいては、有効であると思われる。

現在、システムは入力文に対する答えを推論することができるまでになっている¹³⁾。

謝辞 本研究に際し、助言を頂いた本学の山本幹雄氏ならびに研究室の諸氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Allen, J.: *Natural Language Understanding*, p. 574, The Benjamin/Cummings Publishing Company, INC (1987).
- 2) 金田一春彦 (編): 日本語動詞のアスペクト, むぎ書房 (1976).
- 3) 竹本信治, 田口勝豊, 中川聖一: 質疑応答システムにおける日本語文の理解と生成, 情報処理学会自然言語処理研究会, NL-74-13, pp. 97-104 (1989).
- 4) 田中穂積, 元吉文男, 山梨正明: LISP で学ぶ認知心理学3, 東京大学出版会 (1983).
- 5) 長尾 真: 言語工学, 昭晃堂 (1983).
- 6) 中川聖一, 千田滋也: 交通規則文章題の理解と質問応答, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J70-D, No. 11, pp. 2280-2286 (1987).
- 7) 野口正一, 滝沢 誠: 知識工学基礎論, オーム社 (1986).
- 8) 平井 誠, 北橋忠宏: 格の強度と述語の構文および意味属性を用いた格構造の変換生成につい

て, 情報処理学会論文誌, Vol. 28, No. 3, pp. 240-249 (1987).

- 9) 平井 誠, 北橋忠宏: 動詞の構文-意味属性による日本語動詞句内の多義語の決定, 人工知能学会誌, Vol. 2, No. 2, pp. 214-222 (1987).
- 10) 平井 誠, 北橋忠宏: 日本語文における「の」と連体修飾の分類と解析, 情報処理学会自然言語処理研究会, NL-58-1, pp. 1-8 (1986).
- 11) 水谷静夫, 石綿敏雄, 荻野孝野, 賀来直子, 草薙裕: 文法と意味I, 朝倉書店 (1983).
- 12) 長尾 真: 日本語情報処理, 電子情報通信学会 (1984).
- 13) 八田哲次, 山本幹雄, 中川聖一: 交通規則に関する質問応答システムへの多重様相論理の応用, 人工知能全国大会, 1-9 (1990).
(平成2年5月7日受付)
(平成2年12月18日採録)



中川 聖一 (正会員)

昭和51年京都大学大学院博士課程修了。同年京都大学情報助手。昭和55年豊橋技術科学大学情報工学系講師。昭和58年助教授。平成2年教授。工学博士。昭和60~61年カーネギー・メロン大学客員研究員。音声情報処理, 自然言語処理, 人工知能の研究に従事。昭和52年電子通信学会論文賞受賞。著書: 「情報基礎学詳説」(分担執筆, コロナ社), 「確率モデルによる音声認識」(電子情報通信学会), 「音声・聴覚と神経回路網モデル」(共著, オーム社) など。電子情報通信学会, 日本音響学会, 人工知能学会, IEEE, INNS 各会員。



竹本 信治

昭和63年豊橋技術科学大学情報工学課程卒業。平成2年同大学院修士課程情報工学専攻修了。現在松下電器産業(株)オーディオ・ビデオ研究所勤務。在学中は自然言語処理の研究に従事。



田口 勝豊

昭和64年豊橋技術科学大学情報工学課程卒業。現在同大学院修士課程情報工学専攻在学中。自然言語処理の研究に従事。