Internal Use Only (非公開)

TR-I-0208

単一化文法解析生成システムのための英文法

English Grammar for Unification-Based Parser/Generator

上田良寛
Yoshihiro Ueda

1991.3

概要

対話文生成を目的として開発したタイプ付き素性構造主導型生成のための文法について記述している。この生成システムは、NADINE, SL-TRANSの解析部と文法･辞書を共有可能な双方向文法を採用しており、この文法も解析用にも使用可能である。この文法は、HPSGの最も新しい解析方法を基礎に用いた。ここでは、これを単一化文法解析生成システムに実装する際の変更点･改良点について説明する。

ATR Interpreting Telephony Research Laboratories
ATR 自動翻訳電話研究所

目次

1. はじめに

2. 文法の概要: HPSGの新しい解析方法

2.1 表現の構造 2-1
2.2 スキーマと原則 2-2
2.3 Unbound Dependencyの扱い 2-3

3. 英文解析生成用文法の実装

3.1 リンクタイプの使用 3-1
3.2 集合の扱い 3-1
3.3 原則の使い分け 3-2
3.4 possessor 3-3
3.5 形容詞 3-4
3.6 Quantifier Storage とQuantified NP 3-5
3.7 動詞と名詞の意味表現 3-5
3.8 Gapの扱い 3-6
3.9 文の意味 3-9
3.10 Idiomの扱い 3-10

4. 解析生成結果と文法の課題

5. おわりに

1. はじめに

対話文生成のため、タイプ付き素性構造主導型生成を開発した。このシステムは、NADINE, SL-TRANSの解析部と文法・辞書を共有する双方向文法システムとなっている。ここでは、この解析部と新たに開発した生成部をあわせて、ATR単一化文法解析生成システムと呼ぶ。

このシステムのための文法は、HPSG の最も新しい解析方法(Pollard and Sag, 1991)をもとに作成した。この文法の概要について、2節で説明する。

この文法は、一部通常の単一化のフォーマリズムに馴染まないところがある。また、ATR単一化文法解析生成システムにおける機能的な制約によりそのままを記述できない点、生成に用いる上で必要な変更点などがあり、HPSGそのままを実装していない。これらの変更点を3節で説明する。

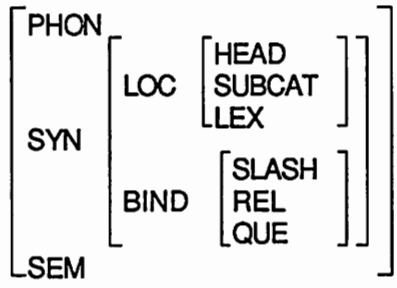
4節に実際の生成結果を示し、今後の課題を提示する。

2. 文法の概要: HPSGの新しい解析方法

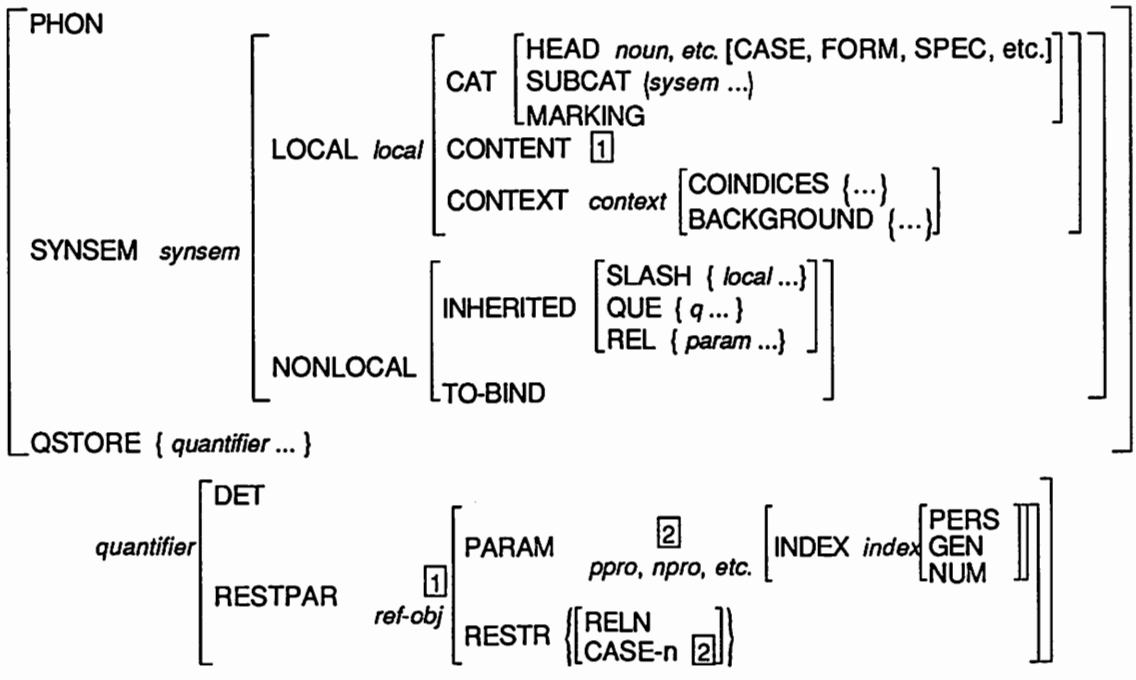
ここで用いる文法は、HPSGの新しい解析方法(Pollard and Sag, 1991)に基づいている。この解析では、Head feature principle, Semantic feature principle などの基本的な概念は同一であるが、全体の一貫性を保ちながら多くの言語現象が説明できるよう拡張されている。ここでは、この解析方法の概要を示す。また、特にギャップを含むUnbound Dependencyについて説明する。

2.1 表現の構造

まず大きな変更は、解析で得られる表現の構造になされている。図1にその構造を示す。(a)が今までのもの、(b)が新しい構造である。統語構造と意味構造を一つにしたsynsemという素性が導入され、いままでsubcat要素には句構造のノードそのものが入れられていたのが、synsemが入ることになった。slash要素にはlocal構造、rel要素にはparam構造など、細かく役割づけがなされている。



a) これまでの構造



b) 新しい構造

図1 HPSGによる解析で得られる構造

素性構造中で集合を扱うようになったのも大きな変更の一つである。上記素性構造表現でで中括弧({...})は集合を表す。単一化の際には集合演算が行われる。例えば、形容詞による修飾は、形容詞と名詞の制約の和(UNION)をとって、次に示すような意味表現を形成する。

$$\begin{bmatrix} \text{PARAM } \boxed{1}\begin{bmatrix}\text{INDEX}\begin{bmatrix}\text{PERSON 3rd}\\ \text{NUMBER SING}\end{bmatrix}\end{bmatrix} \\ \text{RESTR } \left\{\begin{bmatrix}\text{RELN big}\\ \text{ARG } \boxed{1}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\text{RELN blue}\\ \text{ARG } \boxed{1}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\text{RELN have}\\ \text{AGEN } \begin{bmatrix}\text{INDEX}\begin{bmatrix}\text{PERSON 1st}\\ \text{NUMBER SING}\end{bmatrix}\end{bmatrix}\\ \text{OBJE } \boxed{1}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\text{RELN book}\\ \text{INST } \boxed{1}\end{bmatrix}\right\} \end{bmatrix}$$

2.2 スキーマと原則

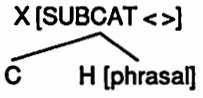
新しいHPSGの解析で用いられるスキーマと原則をまとめる。

スキーマ

Schema 1) (Immediate Dominance Principle, IDP) (Chap. 1, p. 27)

Compelment-Head構造で、飽和しているもの([SUBCAT <>])。

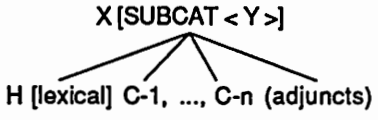
HEAD-DTRはPHRASAL。COMP-DTRの個数は1。



Schema 2) (Immediate Dominance Principle, IDP) (Chap 1, p. 27)

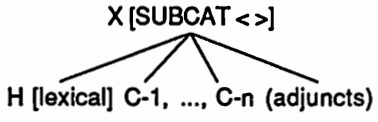
Head-Compelment構造で、ほぼ飽和しているもの(SUBCATリストの長さが1)。

HEAD-DTRはLEXICAL。



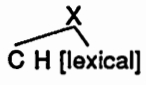
Schema 3)

Head-Compelment構造、飽和しているもの。HEAD-DTRはLEXICAL。



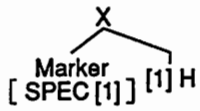
Schema 4)

Compelment-Head構造。HEAD-DTRはLEXICAL。



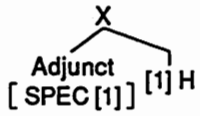
Schema 5) (Chap. 1 p. 41)

Head-Marker構造。MARKER-DTRのMARKING素性値はMOTHERのものと単一化される。

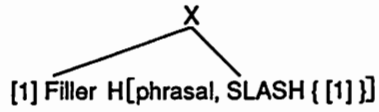


Schema 6)　　(Chap. 1 p. 47)

Head-Adjunct構造。ADJ_DTRのMOD素性値は、HEAD-DTRのSYNSEM素性値と単一化される。



Schema 7)　　(Filler-Head Rule)　(chap. 4, p. 9)



原則

Subcategorization Principle (chap. 1, p.24)

Head構造をもつ句において、HEAD-DTRのSUBCAT素性値は

MOTHERのSUBCAT素性値と、

COMP-DTRのSYNSEM素性値のobliquenessの小さい順のリストとの結合

Head Feature Principle (HFP)　　(chap. 1, p.25)

Head構造をもつ句において、MOTHERのHEAD素性値はHEAD-DTRのHEAD素性値と単一化される。

Quantifier Inheritance Principle (QIP)　(Chap.1 , p. 38)

MOTHERのQUANTIFIER-STORE (QSTORE)素性値は、

子ノードのQSTORE素性値の和から、MOTHERで取り出されるquantifierを除いたもの。

Semantic Principle (Chap.1 , p. 38)

Head構造をもつ句において、MOTHERのCONTENT素性値は、

Head-Adjunct構造の場合、ADJ-DTRのCONTENT素性値と単一化され、

そうでない場合は、HEAD-DTRのCONTENT素性値と単一化される。

SPEC Principle　(Chap.1 , p. 41)

Head構造をもつ句のHeadでない子ノードがSPEC素性値をもつ場合、

HEAD-DTRのSYNSEM素性値と単一化される。

Nonlocal Feature Principle　(Chap. 4, p. 8)

それぞれのNONLOCAL素性において、MOTHERのINHERITED素性値は

子ノードのINHERITED素性値の和から、HEAD-DTRのTO-BIND素性を差し引いたものである。

2.3　Unbound Dependencyの扱い

Unbound Dependencyは、以下の言語現象を含む。

WH-Questions

Relative Clauses
It-Clefts
Pseudoclefts
Purpose Infinitives
Tough Movement

Filler-Gap構造で用いるNONLOCAL素性は、集合によりmultiple unbound dependencies をサポートする。

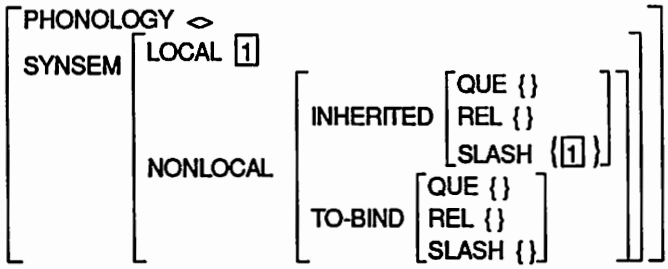
SLASH　localの集合
REL　paramの集合
QUE　quantifierの集合

Filler-Gap構造では、次の３つの点を考慮する必要がある。

BOTTOM	TRACEのlexicon
MIDDLE	素性の伝播 (Nonlocal Feature Principle)
TOP	TRACEの束縛(Filler-Head Rule)

TRACEのlexicon

トレースはPHONOLOGYがなく、LOCALが指定されていない辞書エントリとして表現される。LOCALはSLASHの唯一の要素と一致する。



素性の伝播

Nonlocal Feature Principleにより、素性の伝播が表現される。

Nonlocal Feature Principle (NLFP):

それぞれのNONLOCAL素性に対して、親のINHERITED素性は、
子のINHERITED素性の総和から、HEADのTO-BIND素性を差し引いたものである。

ここで、HEADにTO-BIND素性が指定されていなければ、INHERITED素性はそのまま伝播されることになる。

TRACEの束縛

TRACEの束縛は、NLFPと次の規則によって表現される。

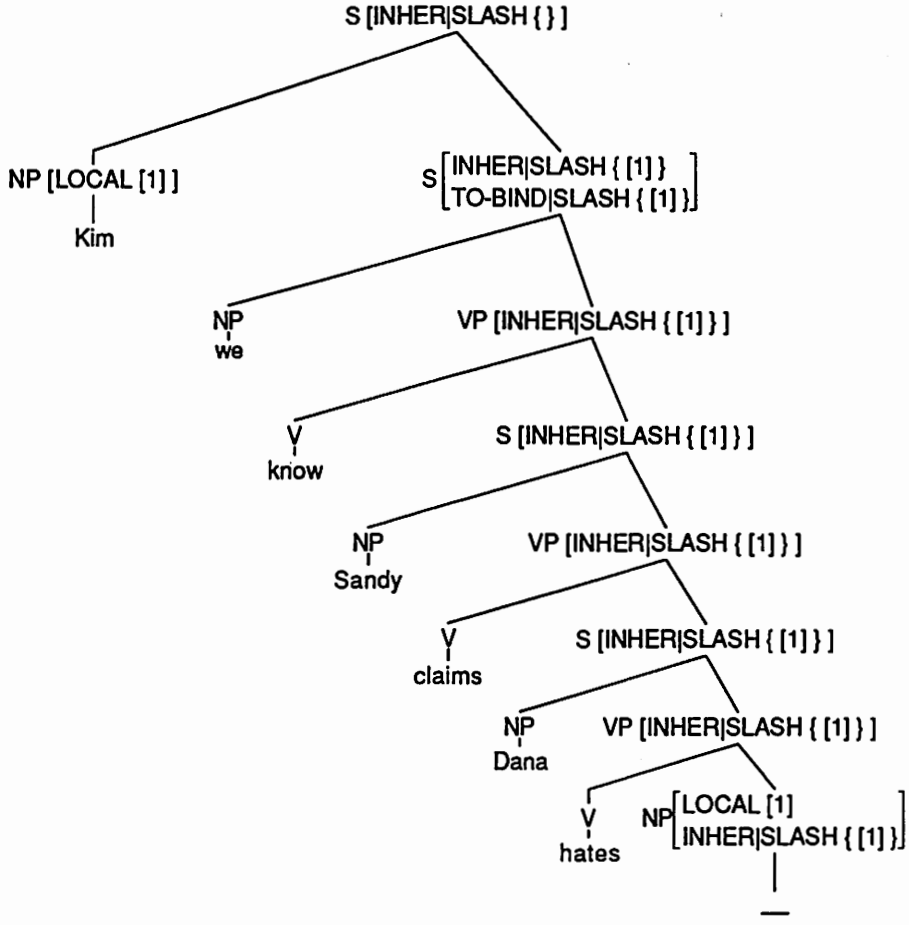
Filler-Head Rule

```
X -> [1],  S[fin, INHER|SLASH {..., [1], ...}, TO-BIND|SLASH { [1] } ]
     Filler  Head
```

$$\begin{bmatrix} \text{DAUGHTERS} & \begin{bmatrix} \text{FILLER_DTR} & [\text{SYNSEM|LOCAL } \boxed{1}] \\ \text{COMPLEMENT-DTRS} & \langle\rangle \\ \text{HEAD-DTR} & \begin{bmatrix} \text{SYNSEM} & \begin{bmatrix} \text{LOCAL|CAT} & \begin{bmatrix} \text{HEAD} & \textit{verb}[\text{VFORM } \textit{fin}] \\ \text{SUBCAT} & \langle\rangle \end{bmatrix} \\ \text{NONLOCAL} & \begin{bmatrix} \text{INHER|SLASH} & \{ \ldots, \boxed{1}, \ldots \} \\ \text{TO-BIND|SLASH} & \{ \boxed{1} \} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

例

Kim$_1$, we know Sandy claims Dana hates $__{}_1$.



関係詞節

英語の関係詞節の分類を示す。

WH-関係詞節

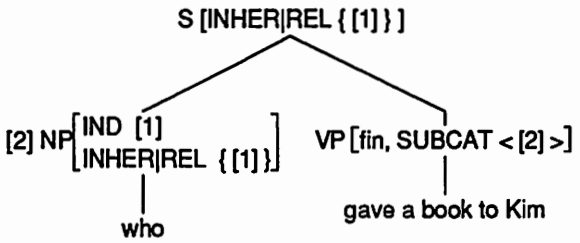
- WH-関係詞節(非主語)　　the person who I talked to
- WH-関係詞節(主語)

非WH-関係詞節

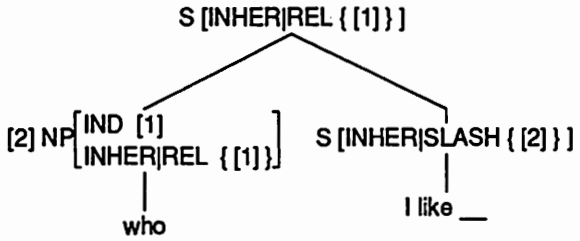
- that関係詞節
- thatなし関係詞節

WH-関係詞節

主語WH-関係詞節はschema-1、非主語WH-関係詞節はschema-6として表現できる。主語WH-関係詞節の構造は、次のようになる。



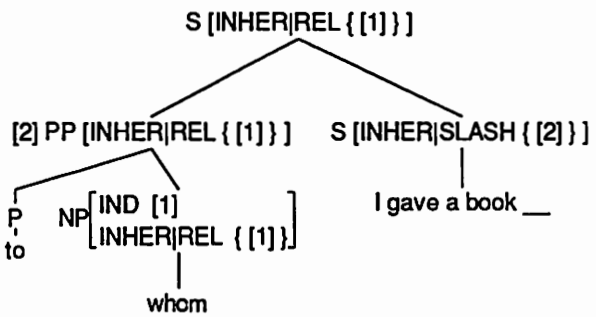
非主語WH-関係詞節は、以下のような構造がとられる。

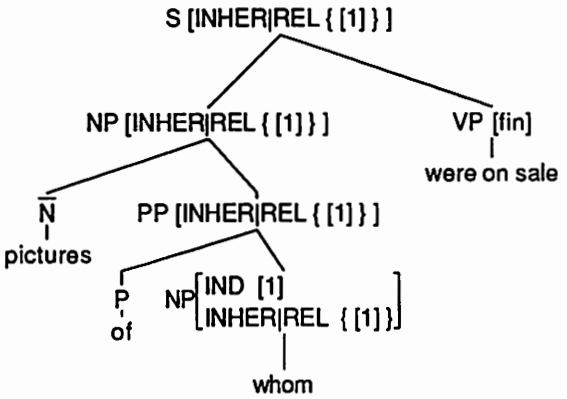


関係詞がSUBCATまたはSLASHに入り、その代りにRELが導入されて上へ伝播される。whomの辞書記述は以下のとおり。ここで、INHER-RELが導入される。

$$\begin{bmatrix} \text{SYNSEM} & \begin{bmatrix} \text{LOCAL} & \begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{NP[acc]} \\ \text{CONTENT|PARA} & \text{npro}\,\boxed{1} \\ \text{CONTEXT|BACKGROUND} & \left\{ \begin{bmatrix} \text{RELN} & \text{HUMAN} \\ \text{INST} & \boxed{1} \end{bmatrix} \right\} \end{bmatrix} \\ \text{NONLOCAL} & \begin{bmatrix} \text{INHERITED} & \begin{bmatrix} \text{QUE} & \{\} \\ \text{REL} & \{\boxed{1}\} \\ \text{SLASH} & \{\} \end{bmatrix} \\ \text{TO-BIND} & \begin{bmatrix} \text{QUE} & \{\} \\ \text{REL} & \{\} \\ \text{SLASH} & \{\} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

次のような関係詞節もこれらの構造、規則から導き出せる。

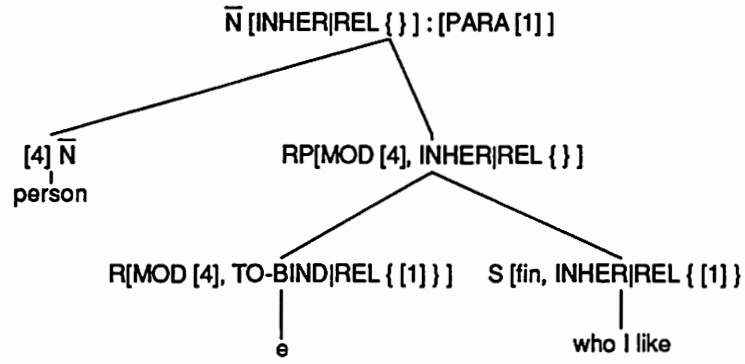




先行詞と関係詞節の結合のために、以下のようなnull relativizerを導入する。

$$\begin{bmatrix} \text{LOCAL} \begin{bmatrix} \text{CAT} \begin{bmatrix} \text{HEAD } \textit{reltvzr}\begin{bmatrix} \text{MOD } \bar{\text{N}}: \begin{bmatrix} \text{PARA } \boxed{1} \\ \text{RESTR } \boxed{3} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ \text{SUBCAT} \langle \text{S}[\text{fin, INHER|REL} \{ \boxed{1} \}] : \boxed{2} \rangle \end{bmatrix} \\ \text{CONTENT} \begin{bmatrix} \text{PARA } \boxed{1} \\ \text{RESTR } \boxed{3} \text{ UNION } \{ \boxed{2} \} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ \text{NONLOCAL|TO-BIND|REL} \{ \boxed{1} \} \end{bmatrix}$$

これを用いて句構造は以下のように表現される。



null relativizerはRELを吸収する。null relativizerを含む関係詞節は、形容詞と同様にHead-Adjunct構造をつくる。関係詞節のCONTENT [2] は、先行詞のrestrictionに追加される。先行詞を含めた関係詞節全体の意味は、

$$\begin{bmatrix} \text{para } \boxed{1} \\ \text{restr } \left\{ \begin{bmatrix} \text{reln } \text{*person*} \\ \text{inst } \boxed{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{reln } \text{*like*} \\ \text{liker } [1\text{st, Sing}] \\ \text{liked } \boxed{1} \end{bmatrix} \right\} \end{bmatrix}$$

となる。

非WH-関係詞節

WH-関係詞節がschema-1またはschema-6で表現されていたのに対して、thatによる関係詞節はMarker-Head構造をとる。REL素性は導入されず、直接SLASH素性が導入される。このSLASHを吸収するための2つめのnull relativizerが導入されている。

3. 英文解析生成用文法の実装

ここでは、HPSGをATR単一化文法解析生成システムで用いる際の、実装方法、およびHPSGに加えた必要な変更点を示す。

3.1 リンクタイプの使用

日本語の場合、全ての規則がComplement-Head 構造をしていたので、原則を記述する際にはひとつのテンプレートを用意すればよかった。例えば、Subcat Feature Principleの場合には次のように記述できる(小暮1988)。

```
(deffstemp h-dtr () dtrs 2)        ;右辺の第二要素であることを示す。
(deffstemp c-dtr () dtrs 1)        ;右辺の第一要素であることを示す。
(deffstemp standard-subcat-fp-ch ()
  (<!m !synsc> == <!h-dtr !synsc rest>)
  (<!m !synsc> == <!h-dtr !synsc first>))
```

英語の場合には、Headが右辺の第一要素である場合と第二要素である場合が存在し、このような一般化はできない。Headの位置にかかわらず原則を一般的に記述するため、リンクタイプを使用してHeadと要素位置の対応をとることにする。ここで用いているリンクタイプは

=HC*=>	第一要素がHead、その他はComplements (0個以上)
=CH=>	第一要素はComplement-1、第二要素はHead
==	右辺は1個のみで、左辺と直接単一化される。

Head、Complementがはいる位置は、テンプレートによって定義される。

```
h-dtr    dtrs head-dtr
c-dtr-1  dtrs comp-dtrs first
c-dtr-2  dtrs comp-dtrs rest first
...
```

これらのリンクタイプを用いて、文法規則は次のように表現される。

```
(defrule s =CH=> (NP VP)
  !subcat-fp !head-fp !sem-fp ...)

(defrule vp =hc*=> (vp xp)
  !subcat-fp !head-fp !sem-fp ...)
```

3.2 集合の扱い

HPSGでは、通常の単一化のなかで集合を扱っている。例えば、以下の素性は集合で表現されている。

RESTR	restricted paramaterのrestriction
QSTORE	quantifier storage (Cooper Storage)
SLASH	ギャップを保持する。local構造の集合。

集合に対する操作として、UNION, MINUSなどが用いられている。

通常のグラフユニフィケーションでは集合を扱うことはできないため、ここでは差分リスト(小暮1988)で代用する。UNIONは差分リストの結合で表現する。

この方法にはいくつかの問題点がある。

差分リストを用いることは要素の順序を規定することを意味している。解析時に子ノードの要素の和を親ノードに渡す場合では、解析終了後の素性構造の解釈の問題で、単に差分リストを集合の表現とみなすだけでよい。しかし、生成の場合にはここに与えられる要素の順序が大きな意味をもつことになる。誤った生成結果を生む場合もあるし、表層の語順がこの順序に規定することもある。

この解決策のひとつとして、生成入力を作成する際に解析結果では差分リストで表現されていたところを、PERM-DLISTで表現することが考えられる。PERM-DLISTは差分リストの要素の全ての順列を並べ上げて、それらを素性構造の選言で表現したものである。文法では適切な制約により正しい順序のものだけが得られるようにする。ただし、PERM-DLISTはその性質上、リストの長さが長くなると組み合せの数が爆発的に増加し、非常に重い処理を必要とする。このため現在は取り入れられていない。

第二の問題点は、MINUS操作である。これに関してはGapの扱いの項で説明する。

もうひとつの問題点は差分リストではリストが少なくとも1個以上の要素をもつことを表現できないことである。小暮(1988)には単一化でNOTオペレーションを用いる方法が示されているが、少なくともここに示されたNOTのアルゴリズムには欠陥があり、この方法は用いることができない。この対策として、生成時にはNOTのチェックを導入した。解析でもこのチェックは必要となるため、最終的に差分リストの単一化のアルゴリズムを変更してNOTを用いないようにした。

3.3 原則の使い分け

HPSGにおいて、各種原則(principles)は(言語を越えて)全ての規則に適用されるものとなっている。このため、原則の中にはスキーマによる条件つきのものや、集合演算で複雑化しているものがあり、ルールにそのまま記述するのが困難なものがある。

このためある原則に対していくつかのテンプレートを用意し、スキーマに応じてそれらを使い分けることにする。例えば、Semantic Feature Principleは、

> あるphraseのCONTENT値は、Head-Adjunct構造のときはAdjunctのCONTENT、
> それ以外のときはHeadのCONTENTと一致する

と定義されている。ここでは、これを次の2つのテンプレートで表現し、各規則ではこれらのうちのいずれかを選択して用いる。

```
(deffstemp sem-fp-1 nil
  (<!m !content> == <!h-dtr !content>))

(deffstemp sem-fp-2 nil
  (<!m !content> == <!adj-dtr !content>))
```

集合の操作は、子ノードの数、構成によってテンプレートを選択する。例えば、子のQSTOREを結合して親ノードに渡すQuantifier Inheritance Principleは、句の構成により、以下のテンプレートから選ばれる。

```
(deffstemp qip-ch ()
```

```
  !(concat-ch !qstore))
(deffstemp qip-h ()
  !(concat-h !qstore))
(deffstemp qip-hc ()
  !(concat-hc !qstore))
(deffstemp qip-hcc ()
  !(concat-hcc !qstore))
```

3.4 possessor

HPSG ではpossessor に関する情報はsemantics には現れず、qstore のみに現れる。これを変更し、semantics で possessorに関する情報を表せるようにした。

possessorの辞書記述(ここでは"my")は、もともとは

$$\begin{bmatrix} \text{synsem|loc} & \begin{bmatrix} \text{cat|head} & \textit{det}\begin{bmatrix}\text{spec } \bar{\text{N}}: \begin{bmatrix}\text{para } \boxed{1} \\ \text{restr } \boxed{2}\end{bmatrix}\end{bmatrix} \\ \text{content|para} & \textit{ppro}\,\boxed{3}\begin{bmatrix}\text{index } \begin{bmatrix}\text{pers } 1\text{st} \\ \text{num } \text{sing}\end{bmatrix}\end{bmatrix}\end{bmatrix} \\ \text{qstore} & \left\{\begin{bmatrix}\text{det } \text{the} \\ \text{restpar } \begin{bmatrix}\text{para } \boxed{1} \\ \text{restr } \boxed{2}\ \text{UNION } \left\{\begin{bmatrix}\text{reln poss} \\ \text{possessor } \boxed{3} \\ \text{possessed } \boxed{1}\end{bmatrix}\right\}\end{bmatrix}\end{bmatrix}\right\}\end{bmatrix}$$

ここで、 $\bar{\text{N}}: \boxed{1} \equiv \begin{bmatrix}\text{loc } \begin{bmatrix}\text{cat } \begin{bmatrix}\text{head } \textit{noun} \\ \text{subcat } \langle \textit{Det} \rangle\end{bmatrix} \\ \text{content } \boxed{1}\end{bmatrix}\end{bmatrix}$

となっていたが、これを

$$\begin{bmatrix} \text{synsem|loc} & \begin{bmatrix} \text{cat|head} & \textit{det}\begin{bmatrix}\text{spec } \bar{\text{N}}: \begin{bmatrix}\text{para } \boxed{1} \\ \text{restr } \boxed{2}\end{bmatrix}\end{bmatrix} \\ \text{content } \boxed{3} & \begin{bmatrix}\text{para } \boxed{1} \\ \text{restr } \boxed{2}\ \text{UNION } \left\{\begin{bmatrix}\text{reln poss} \\ \text{possessor } \textit{ppro}\begin{bmatrix}\text{index } \begin{bmatrix}\text{pers } 1\text{st} \\ \text{num } \text{sing}\end{bmatrix}\end{bmatrix} \\ \text{possessed } \boxed{1}\end{bmatrix}\right\}\end{bmatrix}\end{bmatrix} \\ \text{qstore} & \left\{\begin{bmatrix}\text{det } \textit{the} \\ \text{restpar } \boxed{3}\end{bmatrix}\right\}\end{bmatrix}$$

のように変更し、semanticsにreln = possが反映されるようにした。

また、冠詞"the"の場合は次のようになる。

$$\begin{bmatrix} \text{synsem|loc} & \begin{bmatrix}\text{cat|head } \textit{det}\begin{bmatrix}\text{spec } \bar{\text{N}}: \boxed{1}\begin{bmatrix}\text{para } \textit{npro}\begin{bmatrix}\text{index } \begin{bmatrix}\text{pers } 1\text{st}\end{bmatrix}\end{bmatrix}\end{bmatrix}\end{bmatrix} \\ \text{content } \boxed{1}\end{bmatrix} \\ \text{qstore} & \left\{\begin{bmatrix}\text{det } \textit{the} \\ \text{restpar } \boxed{1}\end{bmatrix}\right\}\end{bmatrix}$$

3.5 形容詞

HPSGでは、形容詞はschema-6とsemantic feature principleによって扱われている。

```
(defrule undetnom =ch=> (a undetnom)
  !schema-6
  !head-fp !subcat-fp-0 !qip-ch !sem-fp-2)

(deffstemp schema-6 ()
  (<!adj-dtr !mod> == <!h-dtr !synsem>))

(deffstemp sem-fp-2 ()
  (<!m !content> == <!adj-dtr !content>))
```

形容詞の辞書記述は、"red"の場合、

$$\begin{bmatrix} \text{synsem|loc} & \begin{bmatrix} \text{cat|head} & \textit{adj}\begin{bmatrix}\text{mod} & \bar{\text{N}}:\begin{bmatrix}\text{para} & \boxed{1} \\ \text{restr} & \boxed{2}\end{bmatrix}\end{bmatrix} \\ \text{content} & \begin{bmatrix}\text{para} & \boxed{1} \\ \text{restr} & \boxed{2}\ \text{UNION}\ \left\{\begin{bmatrix}\text{reln} & \text{*red*} \\ \text{inst} & \boxed{1}\end{bmatrix}\right\}\end{bmatrix}\end{bmatrix}\end{bmatrix}$$

となっている。形容詞が"be + adj" の形式で用いられることを考えると、辞書記述中でUNIONをとることは好ましくない。このため、semantic feature principleを変更し、ここでUNIONをとるようにする。

```
(deffstemp sem-fp-a nil
  (<!m !content> == [ref-obj])
  (<!m !content param> == <!h-dtr !content param>)
  !(concat-ch !content-restr))
```

$$\begin{bmatrix} \text{synsem|loc} & \begin{bmatrix} \text{cat|head} & \textit{adj}\begin{bmatrix}\text{mod} & \bar{\text{N}}:\begin{bmatrix}\text{para} & \boxed{1}\end{bmatrix}\end{bmatrix} \\ \text{content} & \begin{bmatrix}\text{para} & \boxed{1} \\ \text{restr} & \left\{\begin{bmatrix}\text{reln} & \text{*red*} \\ \text{inst} & \boxed{1}\end{bmatrix}\right\}\end{bmatrix}\end{bmatrix}\end{bmatrix}$$

PP (前置詞句)についても同様のschemaとprincipleを用いる。形容詞と前置詞句の規則および形容詞の辞書記述は次のようになる。

```
(defrule undetnom =ch=> (a undetnom)
  !schema-6 !sem-fp-a
  !head-fp !subcat-fp-0 !qip-ch)

(defrule undetnom =hc*=> (undetnom pp)
  !schema-6 !sem-fp-a
  !head-fp !subcat-fp-0 !qip-ch)
```

$$\begin{bmatrix} \text{synsem|loc} & \begin{bmatrix} \text{cat} & \begin{bmatrix}\text{head} & \textit{prep}\begin{bmatrix}\text{mod} & \bar{\text{N}}:\begin{bmatrix}\text{para} & \boxed{1}\end{bmatrix}\end{bmatrix} \\ \text{subcat} & \langle\begin{bmatrix}\text{loc|content} & \boxed{2}\end{bmatrix}\rangle\end{bmatrix} \\ \text{content} & \begin{bmatrix}\text{restr} & \left\{\begin{bmatrix}\text{reln} & \text{*for*} \\ \text{inst} & \boxed{1} \\ \text{obje} & \boxed{2}\end{bmatrix}\right\}\end{bmatrix}\end{bmatrix}\end{bmatrix}$$

形容詞をとるbe動詞の記述は、

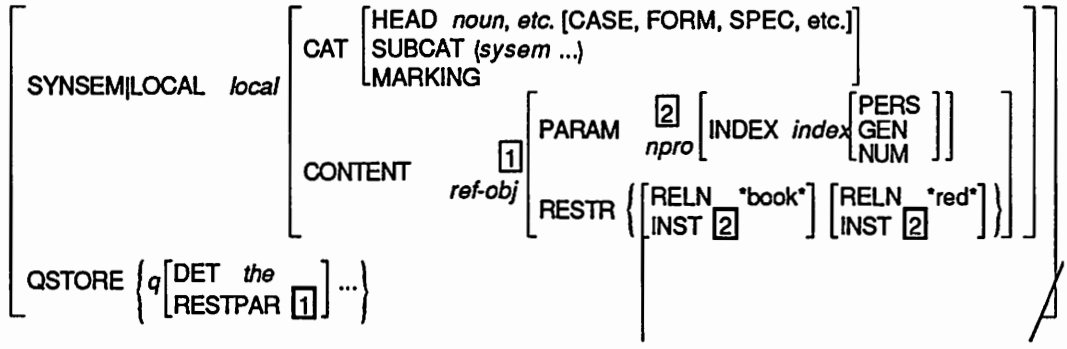
```
(deflex-unit |be-Unit| dyadic
  !verb
```

```
(:or (!(key *be-adj*)
      !(takes-ap)
      (<!content> == <!subcat-1 local content restr in first>)
      (<!content inst> == <!subj first local content>))
     ...
```

なお、Ivan Sagによれば、全ての形容詞が叙述的用法 (+PRED) と属性的用法 (-PRED) の2とおりの機能をもつ場合には、このような方法も可能であるということである。しかし、必ずしもそうではなく、いずれか一方の機能しかないものも存在する。この違いは形容詞に与えられる構造の違いとなって現れる。はじめに示した構造は名詞を修飾する属性的用法で用いられ、be動詞の補語となる叙述的用法では別の構造が与えられる。両方の構造を取り得る多くの形容詞のために、マクロまたはレキシカルルールが必要になる。

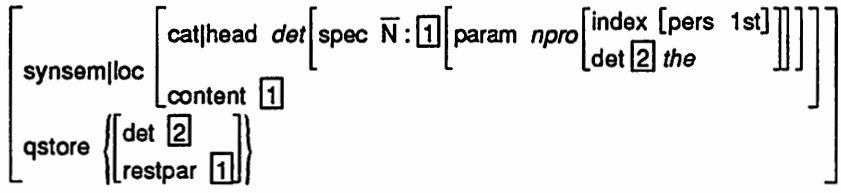
3.6 Quantifier Storage とQuantified NP

現在のHPSGでは、quantifier に関する情報はSYNSEM の下にはおかれず、独立したQSTORE 素性 (Quantifier Storage または Cooper Storage) で与えられる(図参照)。subcat リストにはいるのは SYNSEM だけなので、結果的にquantifier に関する情報を主動詞で与えることができない。これは、idiomの定義などでは問題になる(後述)。



そこで、SYNSEM 内にもquantifier に関する情報を与える。場所は現在のところPARAM の下、INDEX と同じ並びである。

例えば、"the"の辞書記述は次のようになる。



3.7 動詞と名詞の意味表現

ここまで見てきたように、名詞の意味表現は restricted parameter 形式 (パラメタとそれに対する制約の集合) で表現されている。個々の制約は、関係 (relation) とその引数 (argument) 群で表現され、引数の中にはパラメタを指しているものが普通1個存在する。すなわち、引数の値のタイプはparameterということになる。

動詞も、relation-argument構造で記述され、その引数にはパラメタしかこないことが仮定される。　しかし、

その場合、そのパラメタには制約が記述されず、最終的な文のsemanticsに反映されなくなる。　これを避ける方法として次のものが考えられる。

1) 名詞のrestricted parameter 形式の変更。次のようにパラメタ自身の中に制約を記述する。

$$\boxed{1}\ param\begin{bmatrix}\text{index}\ [\ \text{num sing}\ ] \\ \text{restr}\ \left\{\begin{bmatrix}\text{reln}\ \text{*book*} \\ \text{inst}\ \boxed{1}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\text{reln}\ \text{*red*} \\ \text{inst}\ \boxed{1}\end{bmatrix}\right\}\end{bmatrix}$$

2) 動詞のそれぞれの引数に対する制約を独立して記述する。

$$\begin{bmatrix}\text{reln}\ \text{*like*} \\ \text{liker}\ \boxed{1}[\text{index}\ [\ \text{num sing}\ ]] \\ \text{liked}\ \boxed{2}\ [\text{index}\ [\ \text{num sing}\ ]] \\ \text{restr}\ \left\{\begin{bmatrix}\text{reln}\ \text{*girl*} \\ \text{inst}\ \boxed{1}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\text{reln}\ \text{*book*} \\ \text{inst}\ \boxed{2}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\text{reln}\ \text{*red*} \\ \text{inst}\ \boxed{2}\end{bmatrix}\right\}\end{bmatrix}$$

3) 動詞のそれぞれの引数のタイプをparameterではなく、restricted parameter 形式をもつref-objタイプにする。
例えば、関係詞による修飾は次のように表現する。

$$\begin{bmatrix}\text{para}\ \boxed{1} \\ \text{restr}\ \left\{\begin{bmatrix}\text{reln}\ \text{*book*} \\ \text{inst}\ \boxed{1}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\text{reln}\ \text{*red*} \\ \text{inst}\ \boxed{1}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\text{reln}\ \text{*like*} \\ \text{liker}\ \textit{ref-obj}\begin{bmatrix}\text{para}\ \boxed{2} \\ \text{restr}\ \left\{\begin{bmatrix}\text{reln}\ \text{*girl*} \\ \text{inst}\ \boxed{2}\end{bmatrix}\right\}\end{bmatrix} \\ \text{liked}\ \textit{ref-obj}[\text{para}\ \boxed{1}]\end{bmatrix}\right\}\end{bmatrix}$$

それぞれ一長一短があるだろうが、現在は第3の方法を採用している。

3.8　Gapの扱い

Gapは、HPSGでは"Unbound Dependency"として、SLASH, REL, QUEのNonlocal素性を伝播させることによって処理される。

Nonlocal Feature Principle

Nonlocal Feature Principleは、HPSGでは「それぞれのNONLOCAL素性に対して、親のINHERITED素性は、子のINHERITED素性の総和から、HEADのTO-BIND素性を差し引いたものである。」と定義される。

これは、NONLOCAL素性を伝播させることと、そのNONLOCAL素性の伝播を止める(上端及び下端)ことを目的とした、一般化したものである。このために、UNIONとMINUSの2つの集合演算が用いられている。MINUS演算は単一化のアルゴリズムの変更なしには実装できない。また、集合の単純な和を親に渡すだけではなく、集合の要素の数が0でないことの検査も必要になる。

この文法では、次のようにして一般化を避けている。

1) 英語ではGapの数はたかだか1個である。差分リストの終端に記号NONEをつけ、
空差分集合との単一化が発生しないようにする。

2) NONLOCAL素性の伝播を止める場所では、その1個を吸収し、上または下へは伝えない。

ここと、NONLOCAL素性を伝播させるところとは、文法規則上で原則(principle)を使い分ける。

DLISTの単一化の変更により(1)における空差分集合との単一化は発生しなくなるが、Gapの数を1個に限定することは、余計な非決定性を排除して効率を向上させる上で効果がある。

伝播の下端は、実際のGapが現れる(現れない?)位置である。HPSGではギャップはPHONOLOGYがなく、LOCALが指定されていない辞書エントリで表現されているが、ATRパーサではNULLルール(右辺の要素数が0個のルール)を許していないので、Gapになる可能性のある要素をもつルールには、それがGapになる場合のルールを明示的に追加する必要がある。例えば、VP =HC*=> DYADIC XPに対して、

```
(defrule vp =hc*=> (dyadic)
  !schema-2
  !head-fp !qip-h !sem-fp-1
  (<!m !subj> == <!h-dtr !subj>)
  !nlfp-/-bot-h+)

(deffstemp nlfp-/-bot-h+ ()
  (<!m !i-/> == (:dlist []))
  (<!m !i-/ in first> == <!h-dtr !subcat-1 local>)
  (<!m !i-/ in rest> == none)
  (<!h-dtr !i-/> == (:dlist))
  (<!h-dtr !i-/ in> == <!m !i-/ in rest>)
  (<!m !subcat> == (:list)))
```

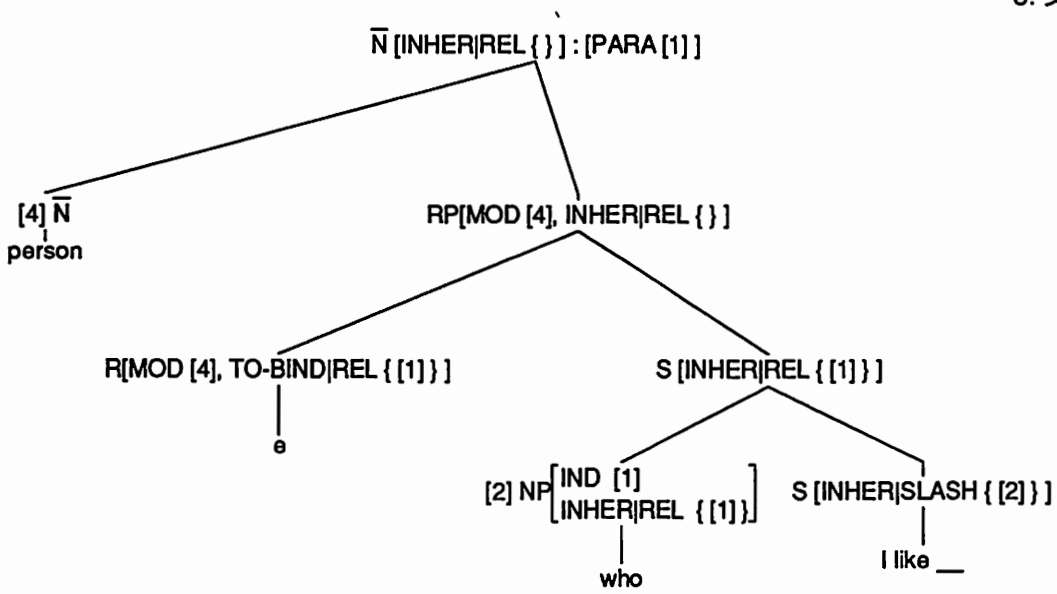
NONLOCAL素性の伝播を止める場所(上端)はスキーマ7 (Filler-Head structure)で扱われる。

```
(defrule s =ch=> (xp s)                  ; for relative clauses
  !schema-7
  !head-fp !subcat-fp-0 !qip-ch !sem-fp-1
  !nlfp-que-mid-ch !nlfp-rel-mid-ch)

(deffstemp schema-7 ()                   ; Filler-Head Rule
  (<!h-dtr !i-/> == <!h-dtr !to-/> == (:dlist []))
  (<!h-dtr !i-/ in first> == <!h-dtr !to-/ in first> == <!filler-dtr !local>)
  (<!h-dtr !i-/ in rest> == <!m !i-/ in>
                         == <!m !i-/ out>
                         == none)
  )
```

関係詞節

関係詞節ではnull relativizerが導入されており、次のような句構造をつくる。



これもnullルールを必要とするため、ATRパーサでは対処できない。このため、null-relativizerを暗黙に仮定した規則 SREL -> S を導入する。

このSRELは、先行する名詞に対して、形容詞と同様のHead-Adjunct 構造のAdjunct になるため、オリジナルHPSGではこのnull-relativizerが、restrのUNIONをとるようになっている。 ここでは形容詞のときと同様に、UNIONをとるのをHead-Adjunct規則に任せるよう変更を行った。

非WH-関係詞節 (thatによる関係詞節) は、HPSGではMarker-Head構造をとり、null-relativizerも異なったものが設定されている。これは、thatが省略可能であること、"the person to whom Kim gave a book _" のような形式が起こらないことなど、WH-関係詞節とは異なった現象を説明するためである。現在の文法では、この解析は採用しておらず、これらを説明するためには別の方法(省略可能マーカや関係代名詞が構成要素の内側に来ることができることを示すマーカ)が必要になる。

その他、ギャップおよび関係詞節の扱いに関して、現在の文法で扱っていない言語現象には以下のようなものがある。

1) whoとwhomの違い。以下のようにwhoとwhomの扱いを変える必要がある。

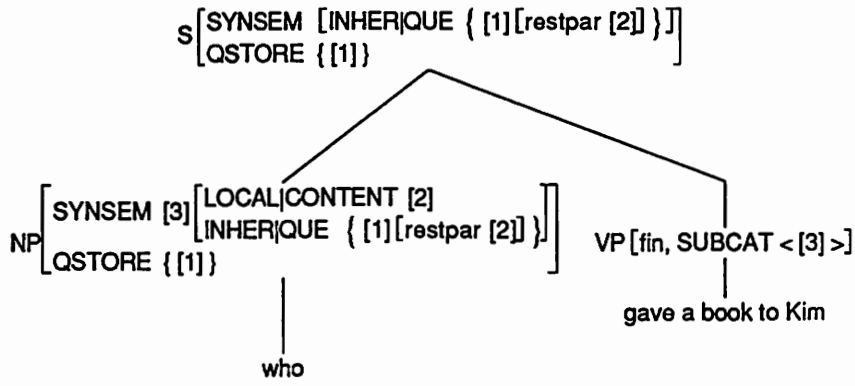
the person to whom Kim sent a book
the person who Kim sent a book to

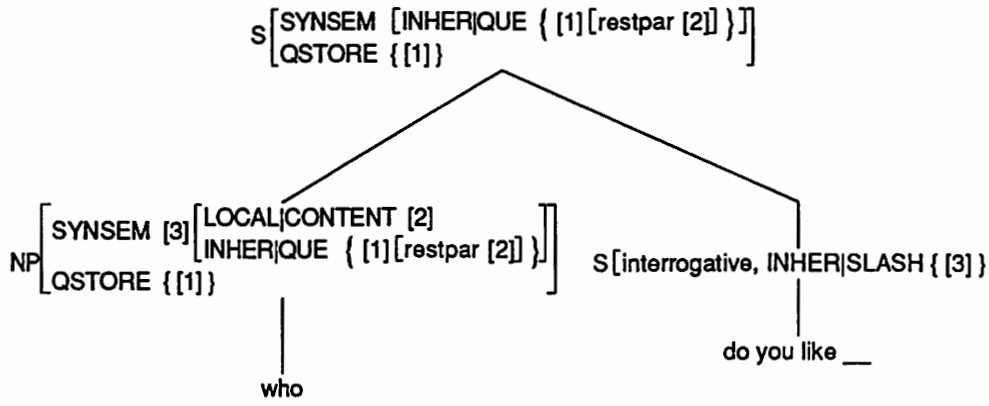
2) ギャップ化できない構成、または構成要素に対する制約。

the book which Kim sent __ to the professor
*the book which Kim sent the professor __

疑問文

関係詞節がnonlocal素性relをslashまたはsubcatと交換することにより実現されていたのと同様に、 疑問文はnonlocal素性queをslashまたはsubcatと交換することにより実現する。ここでもschema-1, schema-6を用いる。





疑問代名詞whoの辞書記述は次のようにする。

$$\begin{bmatrix} \text{SYNSEM} & \begin{bmatrix} \text{LOCAL} & \begin{bmatrix} \text{CAT} & \text{NP[acc]} \\ \text{CONTENT} & \boxed{2} \end{bmatrix} \\ \text{NONLOCAL} & \begin{bmatrix} \text{INHERITED} & \begin{bmatrix} \text{QUE} & \left\{ \boxed{1} \begin{bmatrix} \text{DET} & \text{what} \\ \text{restpar} & \boxed{2} \end{bmatrix} \right\} \\ \text{REL} & \{\} \\ \text{SLASH} & \{\} \end{bmatrix} \\ \text{TO-BIND} & \begin{bmatrix} \text{QUE} & \{\} \\ \text{REL} & \{\} \\ \text{SLASH} & \{\} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ \text{QSTORE} & \{\boxed{1}\} \end{bmatrix}$$

3.9 文の意味

HPSGでは、文の意味(semantic contents)は、semantic feature principleによってhead(またはcomplement)からそのまま持ち上げてきたものである。この文法では、文のタイプにより異なった意味を与える。これは、スタートシンボルSENTENCEをSとは別にもうけ、次の規則を与えることで達成する。

```
(defrule sentence =hc*=> (s)
  !specific-to-h !head-fp !qip-h
  (:or ((<!h-dtr !i-que> == (:dlist))                ;; 平序文
        (<!h-dtr !sent-type> == declarative)
        !sem-declare)
       ((<!h-dtr !i-que> == (:dlist))                ;; yes/no疑問文
        (<!h-dtr !sent-type> == interrogative)
        !sem-question-if)
```

```
        ((<!h-dtr !i-que> == (:dlist [quantifier])) ;; wh疑問文
         (<!h-dtr !i-que out> == <!m !i-que out>)
         (<!h-dtr !sent-type> == interrogative)
         !sem-question-ref))

(defrule sentence =hc*=> (s)                          ;; 命令文
  !specific-to-h !head-fp !qip-h
  (<!h-dtr !subj> == !hearer)
  (<!h-dtr !sent-type> == imperative)
  !sem-imperative)
```

それぞれの意味構造は、次のようにする。

```
[[RELN  *DECLARE*]
 [AGEN  SPEAKER']
 [RECP  HEARER']
 [OBJE  Sのcontent]]

[[RELN  *QUESTION-IF*]
 [AGEN  SPEAKER']
 [RECP  HEARER']
 [OBJE  Sのcontent]]

[[RELN  *QUESTION-REF*]
 [AGEN  SPEAKER']
 [RECP  HEARER']
 [OBJE  QUEの要素]
 [ENV  Sのcontent]]

[[RELN  *REQUEST*]
 [AGEN  SPEAKER']
 [RECP  HEARER']
 [OBJE  VPのcontent]]
```

3.10 Idiomの扱い

Idiomは、その構成要素のうち、semantic headが置かれるものに記述する。以下は、"make a registration for" = "register"の辞書記述で、主動詞"make"の下に記述される。関係名は*register-2*となっている。　下線部は、"make"の第1subcat要素になる"a registration"の指定である。 これは、関係*register-2*の引数にならない。この関係は意味論的にはdyadicであるが、構文的にはtriadicになる。　構文的にdyadicとなる"register"も辞書登録するので、タイプ*register-2*のスーパータイプとしてdyadicとtiriadicを指定する。　また、関係*registration-1*が名詞タイプであることも指定している。

```
(deffstype *register-2* (dyadic triadic))
(deffstype *registration-1* (n))
(deffstype *for* (p))

(deflex-unit |resgister-2-idiom-Unit| triadic
  ;; idiomatic expression "make a registration for NP" == "register NP"
  !(key *register-2*) !verb
  !(takes-*-pp *for*)
  ;; in place of !takes-np (because !(argn-default arg2) is unneccessary)
  !takes-np
  (<!subcat-1 local cat head case> == [acc])
```

```
(<!subcat-1 local content param det> == [a/an])
(<!subcat-1 local content param> == [npro [index [[num [sing]]]]])
(<!subcat-1 local content restr> == (:dlist [[reln [*registration-1*]]]))
(<!content reln> == <temp key>)
(<!content agen> == <!content arg1>)
(<!content sloc> == <!content arg3>)
!(verb-morph-forms "make" "makes" "made" "made" "making"))
```

4. 解析生成結果と文法の課題

この文法を用いた解析生成の結果を付録に示す。ここでは、まず、与えられた文に対して解析を行っている。次に、解析結果として得られた素性構造から意味素性を残して不要な素性を削除し、それを入力として生成を行ったものである。

ここで扱った文は以下のとおり。

my boss attends every big conference
the professor sent a registration form to the conference office
this is the conference office
this is my red book
this is the conference which i attended
this is the professor to whom i sent a book
this is the professor whom i sent a book to
this is the book which i sent to the professor
he is the professor who attended the conference
will you attend the conference
did you attend the conference
what didyou attend
who attended the conference

3節で示した実装の範囲においては、ほぼ正しく生成されている。ここで、過生成を起こしているものが数例ある。これは、以下の制約がまだ与えられていないためである。

1) ギャップを許さない文法構造の制約

3つのargumentをとる動詞"sendは、"send RECP OBJE"と"send OBJE to RECP"の2つの文法構造をとる。しかし、前者の構造では、RECP、OBJEは、ギャップになることを許されていない。例えば、"this is the professor whom i sent a book"や、"this is the book which i sent the professor"は、正しくない。このための制約を文法に記述する必要がある。

2) 関係詞の制約

関係詞自体でも、用いられる場所に制約がある。このなかでは、"this is the professor to that i sent a book", "he is the professor that attended the conference"などの不適切なものがある。また、"this is the conference which i attended"の"which"も"that"のほうが適切である。"who/whom"は、ここでは主格、目的格で区別を行っているが、"whom"は前置詞の目的語になるとき用いられ、それ以外の目的格は"who"を使うのが一般的である。また、"that"の省略もここでは扱われていない。

これ以外に、この文法で扱われていないものとして次のようなものがある。

3) 副詞相当語句の扱い

副詞相当語句による任意格および必須格は現在扱われていない。 任意格は、ADJUNCT(リスト)の要素として動詞句に与える。また、必須格は動詞のsubcat要素になる。

また、関係副詞、疑問副詞も現在は扱われていない。 Nonlocal素性REL, QUEはこれらを扱う適切な枠組を提供している。

5) 態、アスペクト、テンス

受動態は、レキシカルルールを用いて、SUBCAT要素の交換(目的語 -> 主語、主語 -> by目的語)を記述するのが適しているが、現在はこの機能は実装されていない。

アスペクトは、*PROGRESSIVE*, *PERFECTIVE*などのRELN素性値を導入し、命題内容を包み込む形式にすることで対処できる。

テンスは、一応現在の文法に記述されているが、複文になったときに主節と従属節の時制の関係を正しく表現できるようになっていない。入力素性構造表現において、従属節に対する時制は、表層に現われる形で指定するのではなく、主節に相対的に指定するようにしたい。例えば、主節が過去、従属節が現在で指定されていれば、表層においては、"he said that he was a student."のように、従属節も過去で実現される。このようにした場合、「現在」、「過去」、「未来」に加え、「不変の真理」、「歴史的事実」などの指定が必要になる。

6) 代名詞化

文中で同じ名詞に相当する意味表現が2箇所で現れた場合、一方を代名詞化または再帰代名詞化する必要がある。代名詞化されるものは、時間的に後にくるもの、従属節にあるものなどの判断基準があるが、これらの判断基準は単一化文法では記述が困難である。また、同じ名詞に相当する意味表現をどのように記述するのかも問題になる。双方向文法では、逆に言えば、代名詞を文中の他の名詞を指すことを解析できなければならないことになる。

5. おわりに

ATR単一化文法解析生成システム用の英文法について記述した。 この文法は、未完成ではあるが、拡張性を考慮して開発されており、今後の文法の基礎として用いられることが期待される。

今後の拡張としては、前節で述べた機能を文法に加えることが必要になる。このためには、レキシカルルールなどのメカニズムの拡張も必要になる。

現在の文法は、表層発話と発話意図の関係を直接記述しているが、これは、文法の複雑化を招く。久米らが示した発語内的力プランニング(Kume, et. al, 1989)と結合して、発話意図に関する記述を独立させることも今後の拡張のひとつとして考えられるだろう。

最後に、この文法を作成するにあたっては、マルチリンクタイプの使用など、Sondra Ahlén (現在CMU) によって導入された手法を参考にしました。CSLI滞在中には、Ivan Sag教授の授業を受ける機会を得、貴重なアドバイスを受けました。 また、NTT基礎研究所の小暮潔氏、および ATR自動翻訳電話研究所の研究者諸氏の協力、助言を得ています。ここで感謝の意を表明して本稿を閉じます。

参考文献

Borsley, R. D. (1987): *Subjects and Complements in HPSG*, Report No. CSLI-87-107, CSLI.

Pollard, C. and I. A. Sag (1991): *An Information-Based Syntax and Semantics, Volume 2, Topics in Binding and Control*, CSLI Lecture Notes (to appear), CSLI.

小暮潔 (1988): 解析過程の制御を考慮した句構造文法解析機構の検討、ATRテクニカルレポートTR-I-0064、ATR.

Kume, M., Sato, G. K., and Yoshimoto, K. (1989): A Descriptive Framework for Translating Speaker's Meaning, in *4th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*, pp. 264 - 271, Manchester.

```
;;; Dribble file "grammar/test-gen-ieg3.log" started
T
> (test-ana-gen-sents *input-sents*)


Sentence: my boss attends every big conference

A New Result has been found! (53 steps: 3 sec.)
Number of results = 1
Number of equivalents = 1
[SENTENCE[PHON (:DLIST        my
                              boss
                              attends
                              every
                              big
                              conference
                       |?X11| )]
        [SYNSEM ([LOCAL [LOCAL[CAT [SENTENCE[HEAD [VERB[FORM  FIN]
                                                     [SENT-TYPE  DECLARATIVE]
                                                     [INV  -]]]
                                          [SUBJ [LIST]]
                                          [SUBCAT [LIST]]
                                          [SPEC [LIST]]]]
                                 [CONTENT [CIRC[RELN [*DECLARE*]]
                                          [AGEN ?X12[[LABEL  *SPEAKER*]]]
                                          [RECP ?X13[[LABEL  *HEARER*]]]
                                          [OBJE [CIRC[RELN [*ATTEND-2*]]
                                                     [AGEN #|*|#


?X05[SEM[PARAM ?X02[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                      [NUM [SING]]]]
                       [DET [THE]]
                       [HUMAN  +]]]
        [RESTR (:DLIST        [[RELN [POSS]]
                              [POSSESSED ?X02]
                              [POSSESSOR [PARAM[INDEX [INDEX[PERS  1ST]
                                                          [NUM [SING]]]]]]]
                              [[RELN [*BOSS-1*]]
                              [INST ?X02]]
                       |?X01| )]]
                                                          #|*|#]
                                                     [SLOC #|*|#


?X06[REF-OBJ[PARAM ?X03[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                          [NUM [SING]]]]
                          [DET [FORALL]]
                          [HUMAN  -]]]
            [RESTR (:DLIST        [CIRC[RELN [*BIG*]]
                                      [INST ?X03]]
                                  [[RELN [*CONFERENCE-1*]]
                                   [INST ?X03]]
                         |?X04| )]]
                                                          #|*|#]
                                                     [TENSE [*PRESENT*]]
                                                     [ARG1 ?X05]
                                                     [ARG2 ?X06]]]]]]]
                [NONLOCAL [[INHERITED [[SLASH [DLIST[IN  ?X07  NONE]
                                                    [OUT  ?X07]]]
                                          [QUE [DLIST[IN  ?X09  NONE]
                                                    [OUT  ?X09]]]
                                       [REL [DLIST[IN  ?X08  NONE]
                                                    [OUT  ?X08]]]]]]]]
        [QSTORE (:DLIST        [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                          [RESTPAR ?X05]]
                               [QUANTIFIER[DET [FORALL]]
                                          [RESTPAR ?X06]]
                       |?X10| )]
        [PRAG [[SPEAKER ?X12]
               [HEARER ?X13]]]]
Elapsed Real Time = 7.83 seconds
Total Run Time    = 7.74 seconds
User Run Time     = 7.50 seconds
System Run Time   = 0.24 seconds
Process Page Faults = 1
Dynamic Bytes Consed = 962016
There were 4 calls to GC

("my boss attends every big conference")

Sentence: the professor sent a registration form to the conference office

A New Result has been found! (103 steps: 27 sec.)
Number of results = 1
Number of equivalents = 1
[SENTENCE[PHON (:DLIST        the
                              professor
                              sent
                              a
                              registration
                              form
                              to
                              the
                              conference
                              office
                       |?X14| )]
        [SYNSEM ([LOCAL [LOCAL[CAT [SENTENCE[HEAD [VERB[FORM  FIN]
                                                     [SENT-TYPE  DECLARATIVE]
                                                     [INV  -]]]
                                          [SUBJ [LIST]]
                                          [SUBCAT [LIST]]
                                          [SPEC [LIST]]]]
                                 [CONTENT [CIRC[RELN [*DECLARE*]]
                                          [AGEN ?X15[[LABEL  *SPEAKER*]]]
                                          [RECP ?X16[[LABEL  *HEARER*]]]
                                          [OBJE [CIRC[RELN [*SEND-1*]]
                                                     [AGEN #|*|#


?X07[REF-OBJ[PARAM ?X01[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                          [NUM [SING]]]]
                          [DET [THE]]
                          [HUMAN  +]]]
            [RESTR (:DLIST        [[RELN [*PROFESSOR-1*]]
                                   [INST ?X01]]
                         |?X02| )]]
                                                          #|*|#]
                                                     [RECP #|*|#


?X08[REF-OBJ[PARAM ?X03[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
```

```
                                        [NUM [SING]]]]
                              [DET [THE]]
                              [HUMAN  -]]]
          [RESTR (:DLIST          [[RELN [*CONFERENCE-OFFICE-1*]]
                                   [INST ?X03]]
                          |?X04| )]]
                                                        #|*|#]
                                                  [OBJE #|*|#

?X09[REF-OBJ[PARAM ?X06[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                        [NUM [SING]]]]
                              [DET [A/AN]]
                              [HUMAN  -]]]
          [RESTR (:DLIST          [[RELN [*REG-FORM-1*]]
                                   [INST ?X06]]
                          |?X05| )]]
                                                        #|*|#]
                                                  [TENSE [*PAST*]]
                                                  [ARG1 ?X07]
                                                  [ARG2 ?X09]
                                                  [ARG3 ?X08]]]]]]]
               [NONLOCAL [[INHERITED [[SLASH [DLIST[IN  ?X10  NONE]
                                                 [OUT  ?X10]]]
                                        [QUE [DLIST[IN  ?X12  NONE]
                                                    [OUT  ?X12]]]
                                        [REL [DLIST[IN  ?X11  NONE]
                                                    [OUT  ?X11]]]]]]]]]
        [QSTORE (:DLIST        [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                     [RESTPAR ?X07]]
                               [QUANTIFIER[DET [A/AN]]
                                     [RESTPAR ?X09]]
                               [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                     [RESTPAR ?X08]]
                        |?X13| )]
        [PRAG [[SPEAKER ?X15]
               [HEARER ?X16]]]]
Elapsed Real Time = 8.31 seconds
Total Run Time    = 8.32 seconds
User Run Time     = 8.19 seconds
System Run Time   = 0.13 seconds
Process Page Faults = 0
Dynamic Bytes Consed = 762296
There were 4 calls to GC

("the professor sent the conference office a registration form" "the professor sent a
registration form to the conference office")

Sentence: this is the conference office

A New Result has been found! [30 steps: 1 sec.]
Number of results = 1
Number of equivalents = 1
[SENTENCE[PHON (:DLIST        this
                              is
                              the
                              conference
                              office
                      |?X10| )]
        [SYNSEM [[LOCAL [LOCAL[CAT [SENTENCE[HEAD [VERB[FORM  FIN]
                                                    [SENT-TYPE  DECLARATIVE]
                                                    [INV  +]]]
                                          [SUBJ [LIST]]
                                          [SUBCAT [LIST]]
                                          [SPEC [LIST]]]]
                                [CONTENT [CIRC[RELN [*DECLARE*]]
                                          [AGEN ?X11[[LABEL  *SPEAKER*]]]
                                          [RECP ?X12[[LABEL  *HEARER*]]]
                                          [OBJE [CIRC[RELN [*IDENTICAL*]]
                                                    [IDEN #|*|#

?X05[REF-OBJ[PARAM ?X03[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                        [NUM [SING]]]]
                              [DET [THE]]
                              [HUMAN  -]]]
          [RESTR (:DLIST          [[RELN [*CONFERENCE-OFFICE-1*]]
                                   [INST ?X03]]
                          |?X02| )]]
                                                        #|*|#]
                                                  [OBJE #|*|#

?X04[SEM[PARAM [[INDEX [[PERS  3RD]
                        [NUM [SING]]]]
                 [DET [PROXIMAL]]]]
        [RESTR [DLIST[IN ?X01[]]
                     [OUT ?X01]]]]
                                                        #|*|#]
                                                  [TENSE [*PRESENT*]]
                                                  [ARG1 ?X04]
                                                  [ARG2 ?X05]]]]]]]
               [NONLOCAL [[INHERITED [[SLASH [DLIST[IN  ?X06  NONE]
                                                 [OUT  ?X06]]]
                                        [QUE [DLIST[IN  ?X08  NONE]
                                                    [OUT  ?X08]]]
                                        [REL [DLIST[IN  ?X07  NONE]
                                                    [OUT  ?X07]]]]]]]]]
        [QSTORE (:DLIST        [QUANTIFIER[DET [PROXIMAL]]
                                     [RESTPAR ?X04]]
                               [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                     [RESTPAR ?X05]]
                        |?X09| )]
        [PRAG [[SPEAKER ?X11]
               [HEARER ?X12]]]]
Elapsed Real Time = 1.85 seconds
Total Run Time    = 1.77 seconds
User Run Time     = 1.77 seconds
System Run Time   = 0.00 seconds
Process Page Faults = 0
Dynamic Bytes Consed = 0
There was 1 call to GC

("this is the conference office")

Sentence: this is my red book

A New Result has been found! [36 steps: 1 sec.]
Number of results = 1
Number of equivalents = 1
[SENTENCE[PHON (:DLIST        this
```

```
                                is
                                my
                                red
                                book
                        |?X10| )]
        [SYNSEM [[LOCAL [LOCAL[CAT [SENTENCE[HEAD [VERB[FORM  FIN]
                                                    [SENT-TYPE  DECLARATIVE]
                                                    [INV  +]]]
                                          [SUBJ [LIST]]
                                          [SUBCAT [LIST]]
                                          [SPEC [LIST]]]]
                                [CONTENT [CIRC[RELN [*DECLARE*]]
                                          [AGEN ?X11[[LABEL  *SPEAKER*]]]
                                          [RECP ?X12[[LABEL  *HEARER*]]]
                                          [OBJE [CIRC[RELN [*IDENTICAL*]]
                                                    [IDEN #|*|#

?X05[SEM[PARAM ?X03[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                    [NUM [SING]]]]
                        [DET [THE]]
                        [HUMAN  -]]]
        [RESTR (:DLIST        [[RELN [POSS]]
                               [POSSESSED ?X03]
                               [POSSESSOR [PARAM[INDEX [INDEX[PERS  1ST]
                                                       [NUM [SING]]]]]]]
                              [CIRC[RELN [*RED*]]
                                   [INST ?X03]]
                              [[RELN [*BOOK-1*]]
                               [INST ?X03]]
                        |?X02| )]]
                                                       #|*|#]
                                                    [OBJE #|*|#

?X04[SEM[PARAM [[INDEX [[PERS  3RD]
                        [NUM [SING]]]]
                [DET [PROXIMAL]]]]
        [RESTR [DLIST[IN ?X01[]]
                [OUT ?X01]]]]
                                                       #|*|#]
                                                    [TENSE [*PRESENT*]]
                                                    [ARG1 ?X04]
                                                    [ARG2 ?X05]]]]]]]
                [NONLOCAL [[INHERITED [[SLASH [DLIST[IN  ?X06  NONE]
                                                [OUT  ?X06]]]
                                       [QUE [DLIST[IN  ?X08  NONE]
                                                [OUT  ?X08]]]
                                       [REL [DLIST[IN  ?X07  NONE]
                                                [OUT  ?X07]]]]]]]]]
        [QSTORE (:DLIST        [QUANTIFIER[DET [PROXIMAL]]
                                           [RESTPAR ?X04]]
                               [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                           [RESTPAR ?X05]]
                        |?X09| )]
        [PRAG [[SPEAKER ?X11]
               [HEARER ?X12]]]]
Elapsed Real Time = 6.58 seconds
Total Run Time    = 6.58 seconds
User Run Time     = 6.38 seconds
System Run Time   = 0.20 seconds
Process Page Faults = 0
Dynamic Bytes Consed = 655488
There were 3 calls to GC

("this is my red book")

Sentence: this is the conference which i attended

A New Result has been found! (59 steps: 4 sec.)
Number of results = 1
Number of equivalents = 1
[SENTENCE[PHON (:DLIST        this
                              is
                              the
                              conference
                              which
                              i
                              attended
                        |?X14| )]
        [SYNSEM [[LOCAL [LOCAL[CAT [SENTENCE[HEAD [VERB[FORM  FIN]
                                                    [SENT-TYPE  DECLARATIVE]
                                                    [INV  +]]]
                                          [SUBJ [LIST]]
                                          [SUBCAT [LIST]]
                                          [SPEC [LIST]]]]
                                [CONTENT [CIRC[RELN [*DECLARE*]]
                                          [AGEN ?X15[[LABEL  *SPEAKER*]]]
                                          [RECP ?X16[[LABEL  *HEARER*]]]
                                          [OBJE [CIRC[RELN [*IDENTICAL*]]
                                                    [IDEN #|*|#

?X09[REF-OBJ[PARAM ?X07[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                    [NUM [SING]]]]
                        [DET [THE]]
                        [HUMAN  -]]]
        [RESTR (:DLIST        [CIRC[RELN [*ATTEND-2*]]
                              [AGEN ?X04[SEM[PARAM [PPRO[INDEX #|**|#

[INDEX[PERS  1ST]
      [NUM [SING]]]
                                                                #|**|#]
                                                          [DET [NO-DET]]]]
                                                [RESTR [DLIST[IN ?X02[]]
                                                         [OUT ?X02]]]]]
                              [SLOC ?X05[SEM[PARAM ?X07]
                                                [RESTR [DLIST[IN ?X03[]]
                                                         [OUT ?X03]]]]]
                              [TENSE [*PAST*]]
                              [ARG1 ?X04]
                              [ARG2 ?X05]]
                        [[RELN [*CONFERENCE-1*]]
                         [INST ?X07]]
                |?X06| )]]
                                                       #|*|#]
                                                    [OBJE #|*|#

?X08[SEM[PARAM [[INDEX [[PERS  3RD]
                        [NUM [SING]]]]
                [DET [PROXIMAL]]]]
```

```
        [RESTR [DLIST[IN ?X01[]]
                    [OUT ?X01]]]]
                                                        #|*|#]
                                                  [TENSE [*PRESENT*]]
                                                  [ARG1 ?X08]
                                                  [ARG2 ?X09]]]]]]]
                [NONLOCAL [[INHERITED [[SLASH [DLIST[IN  ?X10  NONE]
                                                  [OUT  ?X10]]]
                                      [QUE [DLIST[IN  ?X12  NONE]
                                                  [OUT  ?X12]]]
                                      [REL [DLIST[IN  ?X11  NONE]
                                                  [OUT  ?X11]]]]]]]]]]
         [QSTORE [:DLIST        [QUANTIFIER[DET [PROXIMAL]]
                                          [RESTPAR ?X08]]
                                [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                          [RESTPAR ?X09]]
                        |?X13| )]
         [PRAG [[SPEAKER ?X15]
                [HEARER ?X16]]]]
Elapsed Real Time = 8.82 seconds
Total Run Time    = 8.74 seconds
User Run Time     = 8.74 seconds
System Run Time   = 0.00 seconds
Process Page Faults = 0
Dynamic Bytes Consed = 0
There were 6 calls to GC

("this is the conference which i attended" "this is the conference that i attended")

Sentence: this is the professor to whom i sent a book

A New Result has been found! [78 steps: 8 sec.]
Number of results = 1
Number of equivalents = 1
[SENTENCE[PHON [:DLIST         this
                               is
                               the
                               professor
                               to
                               whom
                               i
                               sent
                               a
                               book
                        |?X17| )]
         [SYNSEM [[LOCAL [LOCAL[CAT [SENTENCE[HEAD [VERB[FORM  FIN]
                                                  [SENT-TYPE  DECLARATIVE]
                                                  [INV  +]]]
                                          [SUBJ [LIST]]
                                          [SUBCAT [LIST]]
                                          [SPEC [LIST]]]]
                                 [CONTENT [CIRC[RELN [*DECLARE*]]
                                          [AGEN ?X18[[LABEL  *SPEAKER*]]]
                                          [RECP ?X19[[LABEL  *HEARER*]]]
                                          [OBJE [CIRC[RELN [*IDENTICAL*]]
                                                  [IDEN #|*|#

?X12[REF-OBJ[PARAM ?X10[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                    [NUM [SING]]]]
                                 [DET [THE]]
                                 [HUMAN  +]]]
                [RESTR [:DLIST        [CIRC[RELN [*SEND-1*]]
                                    [AGEN ?X06[SEM[PARAM [PPRO[INDEX #|**|#

[INDEX[PERS  1ST]
      [NUM [SING]]]
                                                                  #|**|#]
                                                            [DET [NO-DET]]]]
                                                  [RESTR [DLIST[IN ?X02[]]
                                                            [OUT ?X02]]]]
                                    [RECP ?X07[SEM[PARAM ?X10]
                                                  [RESTR [DLIST[IN ?X03[]]
                                                            [OUT ?X03]]]]
                                    [OBJE ?X08[REF-OBJ[PARAM #|**|#

?X05[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                    [NUM [SING]]]]
         [DET [A/AN]]
         [HUMAN  -]]
                                                        #|**|#]
                                              [RESTR [:DLIST        #|**|#

[[RELN [*BOOK-1*]]
 [INST ?X05]]
                                                                  #|**|#
                                                        |?X04| )]]]
                                    [TENSE [*PAST*]]
                                    [ARG1 ?X06]
                                    [ARG2 ?X08]
                                    [ARG3 ?X07]]
                                [[RELN [*PROFESSOR-1*]]
                                 [INST ?X10]]
                        |?X09| )]]
                                                        #|*|#]
                                              [OBJE #|*|#

?X11[SEM[PARAM [[INDEX [[PERS  3RD]
                        [NUM [SING]]]]
                [DET [PROXIMAL]]]]
        [RESTR [DLIST[IN ?X01[]]
                    [OUT ?X01]]]]
                                                        #|*|#]
                                              [TENSE [*PRESENT*]]
                                              [ARG1 ?X11]
                                              [ARG2 ?X12]]]]]]]
                [NONLOCAL [[INHERITED [[SLASH [DLIST[IN  ?X13  NONE]
                                                  [OUT  ?X13]]]
                                      [QUE [DLIST[IN  ?X15  NONE]
                                                  [OUT  ?X15]]]
                                      [REL [DLIST[IN  ?X14  NONE]
                                                  [OUT  ?X14]]]]]]]]]
         [QSTORE [:DLIST        [QUANTIFIER[DET [PROXIMAL]]
                                          [RESTPAR ?X11]]
                                [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                          [RESTPAR ?X12]]
                                [QUANTIFIER[DET [A/AN]]
                                          [RESTPAR ?X08]]
                        |?X16| )]
```

```
        [PRAG ([SPEAKER ?X18]
               [HEARER ?X19]]]]
Elapsed Real Time = 36.74 seconds
Total Run Time    = 36.66 seconds
User Run Time     = 36.07 seconds
System Run Time   = 0.59 seconds
Process Page Faults = 76
Dynamic Bytes Consed = 2128872
There were 20 calls to GC

("this is the professor whom i sent a book" "this is the professor that i sent a book"
"this is the professor to whom i sent a book" "this is the professor to that i sent a
book" "this is the professor whom i sent a book to" "this is the professor that i sent a
book to")

Sentence: this is the professor whom i sent a book to

A New Result has been found! [103 steps: 14 sec.]
Number of results = 1
Number of equivalents = 1
[SENTENCE[PHON (:DLIST        this
                              is
                              the
                              professor
                              whom
                              i
                              sent
                              a
                              book
                              to
                      |?X17| )]
        [SYNSEM ([LOCAL [LOCAL[CAT [SENTENCE[HEAD [VERB[FORM  FIN]
                                                   [SENT-TYPE  DECLARATIVE]
                                                   [INV  +]]]
                                        [SUBJ [LIST]]
                                        [SUBCAT [LIST]]
                                        [SPEC [LIST]]]]
                              [CONTENT [CIRC[RELN [*DECLARE*]]
                                        [AGEN ?X18[[LABEL  *SPEAKER*]]]
                                        [RECP ?X19[[LABEL  *HEARER*]]]
                                        [OBJE [CIRC[RELN [*IDENTICAL*]]
                                                   [IDEN #|*|#

?X12[REF-OBJ[PARAM ?X10[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                    [NUM [SING]]]]
                        [DET [THE]]
                        [HUMAN  +]]]
            [RESTR (:DLIST        [CIRC[RELN [*SEND-1*]]
                                  [AGEN ?X06[SEM[PARAM [PPRO[INDEX #|**|#

[INDEX[PERS  1ST]
      [NUM [SING]]]
                                                                  #|**|#]
                                                            [DET [NO-DET]]]]
                                                      [RESTR [DLIST[IN ?X02[]]
                                                                   [OUT ?X02]]]]]
                                  [RECP ?X07[SEM[PARAM ?X10]
                                                      [RESTR [DLIST[IN ?X03[]]
                                                                   [OUT ?X03]]]]]
                                                [OBJE ?X08[REF-OBJ[PARAM #|**|#

?X05[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                       [NUM [SING]]]]
        [DET [A/AN]]
        [HUMAN  -]]
                                                                  #|**|#]
                                                        [RESTR (:DLIST        #|**|#

[[RELN [*BOOK-1*]]
 [INST ?X05]]
                                                                                #|**|#
                                                                        |?X04| )]]]
                                                [TENSE [*PAST*]]
                                                [ARG1 ?X06]
                                                [ARG2 ?X08]
                                                [ARG3 ?X07]]
                                            [[RELN [*PROFESSOR-1*]]
                                             [INST ?X10]]
                                    |?X09| )]]
                                                                  #|*|#]
                                                        [OBJE #|*|#

?X11[SEM[PARAM [[INDEX [[PERS  3RD]
                       [NUM [SING]]]]
                   [DET [PROXIMAL]]]]
        [RESTR [DLIST[IN ?X01[]]
                     [OUT ?X01]]]]
                                                                  #|*|#]
                                                        [TENSE [*PRESENT*]]
                                                        [ARG1 ?X11]
                                                        [ARG2 ?X12]]]]]]]
                [NONLOCAL [[INHERITED [[SLASH [DLIST[IN  ?X13  NONE]
                                                     [OUT  ?X13]]]
                                      [QUE [DLIST[IN  ?X15  NONE]
                                                  [OUT  ?X15]]]
                                      [REL [DLIST[IN  ?X14  NONE]
                                                  [OUT  ?X14]]]]]]]]]
        [QSTORE (:DLIST        [QUANTIFIER[DET [PROXIMAL]]
                                           [RESTPAR ?X11]]
                               [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                           [RESTPAR ?X12]]
                               [QUANTIFIER[DET [A/AN]]
                                           [RESTPAR ?X08]]
                        |?X16| )]
        [PRAG ([SPEAKER ?X18]
               [HEARER ?X19]]]]
Elapsed Real Time = 34.03 seconds
Total Run Time    = 33.96 seconds
User Run Time     = 33.49 seconds
System Run Time   = 0.47 seconds
Process Page Faults = 18
Dynamic Bytes Consed = 1258520
There were 19 calls to GC

("this is the professor whom i sent a book" "this is the professor that i sent a book"
"this is the professor to whom i sent a book" "this is the professor to that i sent a
book" "this is the professor whom i sent a book to" "this is the professor that i sent a
book to")
```

```
Sentence: this is the book which i sent to the professor

A New Result has been found! [78 steps: 9 sec.]
Number of results = 1
Number of equivalents = 1
[SENTENCE[PHON (:DLIST        this
                              is
                              the
                              book
                              which
                              i
                              sent
                              to
                              the
                              professor
                     |?X17| )]
        [SYNSEM [[LOCAL [LOCAL[CAT [SENTENCE[HEAD [VERB[FORM  FIN]
                                                  [SENT-TYPE  DECLARATIVE]
                                                  [INV  +]]]
                                          [SUBJ [LIST]]
                                          [SUBCAT [LIST]]
                                          [SPEC [LIST]]]]
                                 [CONTENT [CIRC[RELN [*DECLARE*]]
                                          [AGEN ?X18[[LABEL  *SPEAKER*]]]
                                          [RECP ?X19[[LABEL  *HEARER*]]]
                                          [OBJE [CIRC[RELN [*IDENTICAL*]]
                                                  [IDEN #|*|#

?X12[REF-OBJ[PARAM ?X10[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                        [NUM [SING]]]]
                            [DET [THE]]
                            [HUMAN  -]]]
           [RESTR (:DLIST        [CIRC[RELN [*SEND-1*]]
                                     [AGEN ?X06[SEM[PARAM [PPRO[INDEX #|**|#

[INDEX[PERS  1ST]
     [NUM [SING]]]
                                                                  #|**|#]
                                                            [DET [NO-DET]]]]
                                                   [RESTR [DLIST[IN ?X02[]]
                                                            [OUT ?X02]]]]]
                                     [RECP ?X07[REF-OBJ[PARAM #|**|#

?X03[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                     [NUM [SING]]]]
        [DET [THE]]
        [HUMAN  +]]
                                                            #|**|#]
                                                     [RESTR (:DLIST        #|**|#

[[RELN [*PROFESSOR-1*]]
 [INST ?X03]]
                                                                          #|**|#
                                                                  |?X04| )]]]]
                                     [OBJE ?X08[SEM[PARAM ?X10]
                                                   [RESTR [DLIST[IN ?X05[]]
                                                            [OUT ?X05]]]]]
                                     [TENSE [*PAST*]]
                                     [ARG1 ?X06]
                                     [ARG2 ?X08]
                                     [ARG3 ?X07]]
                                [[RELN [*BOOK-1*]]
                                 [INST ?X10]]
                          |?X09| )]]
                                                                  #|*|#]
                                                          [OBJE #|*|#

?X11[SEM[PARAM [[INDEX [[PERS  3RD]
                        [NUM [SING]]]]
                   [DET [PROXIMAL]]]]
        [RESTR [DLIST[IN ?X01[]]
                     [OUT ?X01]]]]
                                                                  #|*|#]
                                                          [TENSE [*PRESENT*]]
                                                          [ARG1 ?X11]
                                                          [ARG2 ?X12]]]]]]]
                 [NONLOCAL [[INHERITED [[SLASH [DLIST[IN  ?X13  NONE]
                                                      [OUT  ?X13]]]
                                       [QUE [DLIST[IN  ?X15  NONE]
                                                  [OUT  ?X15]]]
                                       [REL [DLIST[IN  ?X14  NONE]
                                                  [OUT  ?X14]]]]]]]]]
         [QSTORE (:DLIST        [QUANTIFIER[DET [PROXIMAL]]
                                          [RESTPAR ?X11]]
                                [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                          [RESTPAR ?X12]]
                                [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                          [RESTPAR ?X07]]
                          |?X16| )]
         [PRAG [[SPEAKER ?X18]
                [HEARER ?X19]]]]
Elapsed Real Time = 29.98 seconds
Total Run Time    = 29.90 seconds
User Run Time     = 29.47 seconds
System Run Time   = 0.43 seconds
Process Page Faults = 55
Dynamic Bytes Consed = 1162432
There were 17 calls to GC

("this is the book which i sent to the professor" "this is the book that i sent to the
professor" "this is the book which i sent the professor" "this is the book that i sent
the professor")

Sentence: he is the professor who attended the conference

A New Result has been found! [84 steps: 9 sec.]
Number of results = 1
Number of equivalents = 1
[SENTENCE[PHON (:DLIST        he
                              is
                              the
                              professor
                              who
                              attended
                              the
                              conference
                     |?X15| )]
```

```
        [SYNSEM [[LOCAL [LOCAL[CAT [SENTENCE[HEAD [VERB[FORM  FIN]
                                                   [SENT-TYPE  DECLARATIVE]
                                                   [INV  +]]]
                                          [SUBJ [LIST]]
                                          [SUBCAT [LIST]]
                                          [SPEC [LIST]]]]
                                 [CONTENT [CIRC[RELN [*DECLARE*]]
                                          [AGEN ?X16[[LABEL  *SPEAKER*]]]
                                          [RECP ?X17[[LABEL  *HEARER*]]]
                                          [OBJE [CIRC[RELN [*IDENTICAL*]]
                                                   [IDEN #|*|#

?X10[REF-OBJ[PARAM ?X08[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                       [NUM [SING]]]]
                          [DET [THE]]
                          [HUMAN  +]]]
            [RESTR (:DLIST        [CIRC[RELN [*ATTEND-2*]]
                                       [AGEN ?X06[SEM[PARAM ?X08]
                                                 [RESTR [DLIST[IN ?X04[]]
                                                              [OUT ?X04]]]]]
                                       [SLOC ?X05[REF-OBJ[PARAM #|**|#

?X02[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                    [NUM [SING]]]]
        [DET [THE]]
        [HUMAN  -]]
                                                          #|**|#]
                                                   [RESTR (:DLIST        #|**|#

[[RELN [*CONFERENCE-1*]]
 [INST ?X02]]
                                                                          #|**|#
                                                                     |?X03| )]]]
                                       [TENSE [*PAST*]]
                                       [ARG1 ?X06]
                                       [ARG2 ?X05]]
                                  [[RELN [*PROFESSOR-1*]]
                                   [INST ?X08]]
                            |?X07| )]]
                                                          #|*|#]
                                                   [OBJE #|*|#

?X09[SEM[PARAM [PPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                 [NUM [SING]]
                                 [GEND  MASC]]]
                    [DET [NO-DET]]]]
        [RESTR [DLIST[IN ?X01[]]
                    [OUT ?X01]]]]
                                                          #|*|#]
                                                   [TENSE [*PRESENT*]]
                                                   [ARG1 ?X09]
                                                   [ARG2 ?X10]]]]]]]
                 [NONLOCAL [[INHERITED [[SLASH [DLIST[IN  ?X11  NONE]
                                                   [OUT  ?X11]]]
                                       [QUE [DLIST[IN  ?X13  NONE]
                                                   [OUT  ?X13]]]
                                       [REL [DLIST[IN  ?X12  NONE]
                                                   [OUT  ?X12]]]]]]]]]
        [QSTORE (:DLIST        [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                                   [RESTPAR ?X10]]
                                       [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                                   [RESTPAR ?X05]]
                            |?X14| )]
            [PRAG [[SPEAKER ?X16]
                   [HEARER ?X17]]]]
Elapsed Real Time = 11.46 seconds
Total Run Time    = 11.43 seconds
User Run Time     = 11.21 seconds
System Run Time   = 0.22 seconds
Process Page Faults = 0
Dynamic Bytes Consed = 729320
There were 6 calls to GC

("he is the professor who attended the conference" "he is the professor that attended the
conference")

Sentence: will you attend the conference

A New Result has been found! [48 steps: 5 sec.]
Number of results = 1
Number of equivalents = 1
[SENTENCE[PHON (:DLIST        will
                              you
                              attend
                              the
                              conference
                        |?X12| )]
        [SYNSEM [[LOCAL [LOCAL[CAT [SENTENCE[HEAD [HEAD[FORM  FIN]
                                                   [SENT-TYPE  INTERROGATIVE]
                                                   [INV  +]]]
                                          [SUBJ [LIST]]
                                          [SUBCAT [LIST]]
                                          [SPEC [LIST]]]]
                                 [CONTENT [CIRC[RELN [*QUESTION-IF*]]
                                          [AGEN ?X13[[LABEL  *SPEAKER*]]]
                                          [RECP ?X14[[LABEL  *HEARER*]]]
                                          [OBJE [SEM[RELN [*PROMISE*]]
                                                   [AGEN ?X01[]]
                                                   [RECP []]
                                                   [OBJE #|*|#

?X07[CIRC[RELN [*ATTEND-2*]]
        [AGEN ?X05[SEM[PARAM [PPRO[INDEX [INDEX[PERS  2ND]
                                       [NUM [SING]]]]
                          [DET [NO-DET]]]]
                    [RESTR [DLIST[IN ?X02[]]
                                 [OUT ?X02]]]]
        [SLOC ?X06[REF-OBJ[PARAM ?X03[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                                   [NUM [SING]]]]
                                          [DET [THE]]
                                          [HUMAN  -]]]
                    [RESTR (:DLIST        [[RELN [*CONFERENCE-1*]]
                                           [INST ?X03]]
                                     |?X04| )]]]
        [ARG1 ?X05]
        [ARG2 ?X06]]
                                                          #|*|#]
                                                   [TENSE [*PRESENT*]]
```

```
                                                    [ARG1 ?X01]
                                                    [ARG2 ?X07]]]]]]]
                    [NONLOCAL [[INHERITED [[SLASH [DLIST[IN  ?X08  NONE]
                                                    [OUT  ?X08]]]
                                          [QUE [DLIST[IN  ?X10  NONE]
                                                    [OUT  ?X10]]]
                                          [REL [DLIST[IN  ?X09  NONE]
                                                    [OUT  ?X09]]]]]]]]
          [QSTORE (:DLIST        [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                      [RESTPAR ?X06]]
                        |?X11| )]
          [PRAG [[SPEAKER ?X13]
                 [HEARER ?X14]]]]
Elapsed Real Time = 4.90 seconds
Total Run Time    = 4.90 seconds
User Run Time     = 4.86 seconds
System Run Time   = 0.04 seconds
Process Page Faults = 0
Dynamic Bytes Consed = 0
There were 3 calls to GC

("will you attend the conference")

Sentence: did you attend the conference

A New Result has been found! [48 steps: 3 sec.]
Number of results = 1
Number of equivalents = 1
[SENTENCE[PHON (:DLIST         did
                               you
                               attend
                               the
                               conference
                       |?X10| )]
          [SYNSEM [[LOCAL [LOCAL[CAT [SENTENCE[HEAD [HEAD[FORM  FIN]
                                                    [SENT-TYPE  INTERROGATIVE]
                                                    [INV  +]]]
                                          [SUBJ [LIST]]
                                          [SUBCAT [LIST]]
                                          [SPEC [LIST]]]]
                                 [CONTENT [CIRC[RELN [*QUESTION-IF*]]
                                          [AGEN ?X11[[LABEL  *SPEAKER*]]]
                                          [RECP ?X12[[LABEL  *HEARER*]]]
                                          [OBJE [CIRC[RELN [*ATTEND-2*]]
                                                    [AGEN #|*|#

?X04[SEM[PARAM [PPRO[INDEX [INDEX[PERS  2ND]
                                 [NUM [SING]]]]
                    [DET [NO-DET]]]]
        [RESTR [DLIST[IN ?X01[]]
                    [OUT ?X01]]]]
                                                         #|*|#]
                                                    [SLOC #|*|#

?X05[REF-OBJ[PARAM ?X02[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                       [NUM [SING]]]]
                          [DET [THE]]
                          [HUMAN  -]]]
            [RESTR (:DLIST        [[RELN [*CONFERENCE-1*]]
```

```
                                    [INST ?X02]]
                              |?X03| )]]
                                                         #|*|#]
                                                 [TENSE [*PAST*]]
                                                 [ARG1 ?X04]
                                                 [ARG2 ?X05]]]]]]]
                    [NONLOCAL [[INHERITED [[SLASH [DLIST[IN  ?X06  NONE]
                                                    [OUT  ?X06]]]
                                          [QUE [DLIST[IN  ?X08  NONE]
                                                    [OUT  ?X08]]]
                                          [REL [DLIST[IN  ?X07  NONE]
                                                    [OUT  ?X07]]]]]]]]
          [QSTORE (:DLIST        [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                      [RESTPAR ?X05]]
                        |?X09| )]
          [PRAG [[SPEAKER ?X11]
                 [HEARER ?X12]]]]
Elapsed Real Time = 2.18 seconds
Total Run Time    = 2.18 seconds
User Run Time     = 2.12 seconds
System Run Time   = 0.06 seconds
Process Page Faults = 15
Dynamic Bytes Consed = 0
There was 1 call to GC

("did you attend the conference")

Sentence: what did you attend

A New Result has been found! [39 steps: 2 sec.]
Number of results = 1
Number of equivalents = 1
[SENTENCE[PHON (:DLIST         what
                               did
                               you
                               attend
                       |?X10| )]
          [SYNSEM [[LOCAL [LOCAL[CAT [SENTENCE[HEAD [HEAD[SENT-TYPE  INTERROGATIVE]
                                                    [INV  +]
                                                    [FORM  FIN]]]
                                          [SUBJ [LIST]]
                                          [SUBCAT [LIST]]
                                          [SPEC [LIST]]]]
                                 [CONTENT [CIRC[RELN [*QUESTION-REF*]]
                                          [AGEN ?X11[[LABEL  *SPEAKER*]]]
                                          [RECP ?X12[[LABEL  *HEARER*]]]
                                          [REF ?X08[QUANTIFIER[DET [WHAT]]
                                                    [RESTPAR #|*|#

?X02[SEM[PARAM [[DET [WHAT]]
                [HUMAN  -]]]
        [RESTR [DLIST[IN ?X01[]]
                    [OUT ?X01]]]]
                                                         #|*|#]]]
                                          [ENV [CIRC[RELN [*ATTEND-2*]]
                                                    [AGEN #|*|#

?X04[SEM[PARAM [PPRO[INDEX [INDEX[PERS  2ND]
                                 [NUM [SING]]]]
```

```
                    [DET [NO-DET]]]]
          [RESTR [DLIST[IN ?X03[]]
                    [OUT ?X03]]]]
                                                  #|*|#]
                                              [SLOC ?X02]
                                              [TENSE [*PAST*]]
                                              [ARG1 ?X04]
                                              [ARG2 ?X02]]]]]]]
                  [NONLOCAL [[INHERITED [[SLASH [DLIST[IN  ?X05  NONE]
                                                [OUT  ?X05]]]
                                        [QUE [DLIST[IN  ?X07  NONE]
                                                [OUT  ?X07]]]
                                        [REL [DLIST[IN  ?X06  NONE]
                                                [OUT  ?X06]]]]]]]]]
          [QSTORE (:DLIST        ?X08
                        |?X09| )]
          [PRAG [[SPEAKER ?X11]
                 [HEARER ?X12]]]]
Elapsed Real Time = 2.41 seconds
Total Run Time    = 2.41 seconds
User Run Time     = 2.34 seconds
System Run Time   = 0.07 seconds
Process Page Faults = 10
Dynamic Bytes Consed = 0
There was 1 call to GC

("what did you attend")

Sentence: who attended the conference

A New Result has been found! [40 steps: 5 sec.]
Number of results = 1
Number of equivalents = 1
[SENTENCE[PHON (:DLIST        who
                              attended
                              the
                              conference
                      |?X11| )]
        [SYNSEM [[LOCAL [LOCAL[CAT [SENTENCE[HEAD [VERB[FORM  FIN]
                                                  [SENT-TYPE  INTERROGATIVE]
                                                  [INV  -]]]
                                   [SUBJ [LIST]]
                                   [SUBCAT [LIST]]
                                   [SPEC [LIST]]]]
                        [CONTENT [CIRC[RELN [*QUESTION-REF*]]
                                   [AGEN ?X12[[LABEL  *SPEAKER*]]]
                                   [RECP ?X13[[LABEL  *HEARER*]]]
                                   [REF ?X09[QUANTIFIER[DET [WHAT]]
                                                  [RESTPAR #|*|#

?X02[SEM[PARAM [[DET [WHAT]]
                [HUMAN  +]]]
        [RESTR [DLIST[IN ?X01[]]
                    [OUT ?X01]]]]
                                                  #|*|#]]]
                                   [ENV [CIRC[RELN [*ATTEND-2*]]
                                             [AGEN ?X02]
                                             [SLOC #|*|#
?X05[REF-OBJ[PARAM ?X03[NPRO[INDEX [INDEX[PERS  3RD]
                                          [NUM [SING]]]]
                                [DET [THE]]
                                [HUMAN  -]]]
          [RESTR (:DLIST        [[RELN [*CONFERENCE-1*]]
                                  [INST ?X03]]
                        |?X04| )]]
                                                  #|*|#]
                                              [TENSE [*PAST*]]
                                              [ARG1 ?X02]
                                              [ARG2 ?X05]]]]]]]
                  [NONLOCAL [[INHERITED [[SLASH [DLIST[IN  ?X06  NONE]
                                                [OUT  ?X06]]]
                                        [QUE [DLIST[IN  ?X08  NONE]
                                                [OUT  ?X08]]]
                                        [REL [DLIST[IN  ?X07  NONE]
                                                [OUT  ?X07]]]]]]]]]
          [QSTORE (:DLIST        ?X09
                                 [QUANTIFIER[DET [THE]]
                                        [RESTPAR ?X05]]
                        |?X10| )]
          [PRAG [[SPEAKER ?X12]
                 [HEARER ?X13]]]]
Elapsed Real Time = 2.54 seconds
Total Run Time    = 2.54 seconds
User Run Time     = 2.54 seconds
System Run Time   = 0.00 seconds
Process Page Faults = 0
Dynamic Bytes Consed = 0
There was 1 call to GC

("who attended the conference")
(("my boss attends every big conference") ("the professor sent the conference office a
registration form" "the professor sent a registration form to the conference office")
("this is the conference office") ("this is my red book") ("this is the conference which
i attended" "this is the conference that i attended") ("this is the professor whom i sent
a book" "this is the professor that i sent a book" "this is the professor to whom i sent
a book" "this is the professor to that i sent a book" "this is the professor whom i sent
a book to" "this is the professor that i sent a book to") ("this is the professor whom i
sent a book" "this is the professor that i sent a book" "this is the professor to whom i
sent a book" "this is the professor to that i sent a book" "this is the professor whom i
sent a book to" "this is the professor that i sent a book to") ("this is the book which i
sent to the professor" "this is the book that i sent to the professor" "this is the book
which i sent the professor" "this is the book that i sent the professor") ("he is the
professor who attended the conference" "he is the professor that attended the
conference") ("will you attend the conference") ("did you attend the conference") ("what
did you attend") ("who attended the conference"))
> (dribble)
;;; Dribble file "grammar/test-gen-ieg3.log" finished
```