

名詞述語文における意味概念の学習

荒木 健治 桃内 佳雄

北海学園大学工学部

日本語文に典型的に出現する名詞述語文における意味概念を学習する手法について考察し、実験システムを作成して評価実験を行った。本手法は、文の構造の解析、学習、解析、フィードバック学習の4つの処理過程から構成され、名詞述語文の名詞句間の意味関係を決定するものである。名詞述語文がシステムに入力されると階層構造を持つ意味ネットワークに学習により名詞述語文中の名詞句の概念および名詞句間の意味関係が記憶される。また、未知の概念に対しては曖昧なまま記憶し、後に文が入力されると次第に曖昧さが解消される。実験システムを用いて評価実験を行った結果、23文入力された状態で誤りが1箇所であークの意味関係の数が1/5に限定されていることが確認され、本手法の有効性が確認された。

LEARNING OF SEMANTIC CONCEPT IN COPULAR SENTENCE

Kenji ARAKI Yoshio MOMOUCHI

Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University

S26-W11, Chuo-ku, Sapporo, 064, JAPAN

We considered a method of learning semantic concepts in copular sentences appeared in Japanese texts typically, and developed an experimental learning system, and carried out an evaluation experiment. Our method consists of analysis of sentence structure, and learning, analysis and feedback learning of semantic concepts. The concepts of noun phrases and semantic relations of them in copular sentences are stored in a hierarchical semantic network. Unknown concepts are stored in it with ambiguities. But the ambiguities are reduced after copular sentences have been inputted to the system. Only one error remains. The number of semantic relations of arcs in semantic network is 1/5 of all of them in the hierarchical semantic network after 23 sentences are learned by the system. It shows that our method is effective.

1. はじめに

自然言語理解システムの構築はマン・マシン・インタフェースおよび電子化された文書データの高度利用という視点から非常に重要な課題である。しかし、自然言語を理解する仕組みの構築には、汎用性や実用性の観点から多くの問題が依然として残されている¹⁾。この問題に対して、我々は自然言語理解システム構築のための一つの基礎として、日本語文に典型的に出現する名詞述語文の理解について研究を進めている。ここで、名詞述語文とは、主語と述語の対立の中で、述語が名詞で作られる文のことである²⁾。名詞述語文については、日本語学の観点から種々の考察が行われている^{2, 3, 4)}。しかし、計算言語学的観点から十分研究がなされているとはいえない。このような立場から我々は、従来より名詞述語文「<名詞句1>は<名詞句2>である。」を対象として、名詞句間の意味関係の学習と解析を行う手法の基礎的な考察を行っている⁵⁾。

本稿では、名詞句間の意味関係を学習・解析する手法の概要とその有効性を評価するため本手法に基づく実験システムを作成して行った実験結果について述べる。

2. 名詞句間の意味関係

名詞述語文における<名詞句1>と<名詞句2>の間の基本的な意味関係を以下に示す。

(1) 下位・上位関係

<名詞句2>が<名詞句1>の上位概念を表わす。

例：鯨はほ乳類です。

(2) 同一関係

<名詞句1>と<名詞句2>が同一概念を表わす。

対象レベルと概念レベルでの同一関係がある。

例1：富士山は日本一の山です。

(対象レベルでの同一関係)

例2：正方形は直角正四辺形です。

(概念レベルでの同一関係)

(3) 対象・属性関係

<名詞句1>が対象で<名詞句2>が<名詞句1>の属性値を表わす。

例：太郎は医者です。

(4) 対象・事象関係

<名詞句1>が対象で<名詞句2>が<名詞句1>の関与する事象を表わす。

例：父が帰宅です。

(5) 要素・集合関係

<名詞句1>が<名詞句2>の表わす集合の要素となっている。

例：雄は性別です。

(6) うなぎ文関係⁶⁾

「太郎は鰻です。」に代表される文で文脈に依して、例えば「太郎は鰻を食べます。」という意味に解釈される。これは、太郎という名前の鰻がいて文字どおりそれが鰻であるという解釈も可能である。

(7) 比喩関係

<名詞句1>の属性に<名詞句2>の顕著な属性を重ねる隠喩を表わす。

例：太郎は鰻です。

(太郎は鰻のようにぬりくらしと言ひ訳をする。)

(8) 同語反復同一関係

<名詞句1>と<名詞句2>に同じ名詞句を置き、文脈(状況)の中で修辭的解釈が行なわれる。

例：太郎は太郎です。自分で考え、自分で行動すべきです。

ここでは、文字どおりの意味である(1)～(5)を対象とし、意味関係の学習と解析を行う。文字どおり以外の意味である(6)～(8)についての学習と解析については、今後研究を進め別の機会に報告したい。

3. 知識表現

我々は、知識表現として、S.C.Shapiroらによって提案された意味ネットワークSNePS⁷⁾に基づく表現を用いている。図1に「人間はほ乳類です。」のSNePS表現の例を示す。SNePSでは節(nodes)が、命題、対象、属性、関係などを表わし、弧(arcs)はそれらの間の構造的、意味的つながりを表わす。ここで、ある概念からある概念までの弧の連なりを二つの概念間のパス(経路)と呼ぶ。図1で<lex>につながる<人間>と<ほ乳類>は語彙であり、<m1>と<m2>は<人間>と<ほ乳類>の概念であり、<m3>は<m1>と<m2>が下位・上位関係であるという概念である。

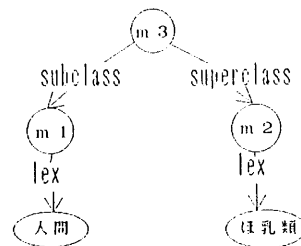


図1 SNePSの例

ここで用いる概念生成モデルは、事物の概念である具象概念を事物の性質に対応する属性概念によって制限することにより新たな概念である派生概念を生じ、それが具象概念あるいは属性概念として知識の中に組み込まれてゆくというものである。したがって、概念は具象概念、属性概念、派生概念のいずれかに分類される。これは、学習の段階でヒューリスティックスを用いて行われる。

ここで、2章で述べた(1)～(5)までの意味関係をネットワーク上での弧で表現する際の表記について述べる。ここで、(1)、(3)、(4)、(5)については、それぞれ<名詞句1>を始点とするか<名詞句2>を始点とするかで2通り考えられるので、実際には以下のような9つの関係が考えられる。

(1) 下位・上位関係： <-subclass-:-superclass->

上位・下位関係： <-superclass-:-subclass->

(2) 同一関係： <-equiv-:-equiv->

(3) 対象・属性関係： <-object-:-property->

属性・対象関係： <-property-:-object->

(4) 対象・事象関係： <-object-:-event->

事象・対象関係： <-event-:-object->

(5) 要素・集合関係： <-member-:-class->

集合・要素関係： <-class-:-member->

4. 概要

本稿で提案する手法は、意味ネットワークの中で2つの概念を結ぶパスから2つの概念の意味関係を決定するものである。未知概念や曖昧さを含む既知概念に対処するために学習を行う必要がある。名詞述語文における意味概念の学習を行うために、種々のヒューリスティックスを用いる。ヒューリスティックスは学習と解析用に分けられ、いくつかの例文を基に考察され、作成されたものである。

また、名詞述語文における名詞句間の意味関係を学習するためには、曖昧さに対する処理が必須である。これは、一文の情報には曖昧さが存在するためである。このため本手法では、学習と解析は融合して行われる。すなわち、曖昧な場合には曖昧なまま知識表現の中に表現し、新たな情報(文)が入力された時点で学習により曖昧さを減少させるという方法をとっている。

5. 意味関係の処理

本手法では、名詞述語文が入力されると、はじめに文の構造を解析する。これは、名詞句1と名詞句2の同定および名詞句内の構成を解析するものである。次に学習を行うが、二つの概念が既知であり、しかも、直接のパスに曖昧さが存在しない場合には学習を行わない。直接のパスに曖昧さが存在する場合には学習を行い、学習の結果曖昧さが減少する場合には意味関係を更新する。次に、解析を行う。これは、すでに存在する知識を考慮して意味関係の曖昧さを減少し、その関係を出力する処理である。最後に解析結果のフィードバック学習を行う。これは、決定された意味関係を用いて他のパスの意味関係の曖昧さを減少させる処理である。処理の流れを図2に示す。

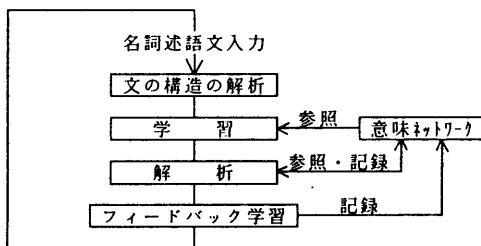


図2 処理の流れ

5. 1 文の構造の解析

まず、名詞述語文から名詞句1と名詞句2を取り出す。本システムでは、名詞述語文は形態素単位に「/」によって分割されて入力されるので、名詞句1は文頭から「が、は」の間の部分、名詞句2は「です、である、だ」と「が、は」の間の部分である。また、名詞句の内部では「～の～、～と～」の表現を扱い得る。したがって、「の、と」を検出し、その両側に存在する名詞を抽出しておく。

5. 2 学習

文構造が解析された名詞述語文を元に学習を行う。学習は学習のヒューリスティックスを用いて行われる。学習のヒューリスティックスの一覧を表1に、その分類と

適用の順序を表2に示す。

表1 学習ヒューリスティックス一覧

- L H 1
 <名詞句1>の中で制限されている概念と<名詞句1>が表わす概念の関係は属性概念が具象概念を制限している時には上位・下位関係である。
- L H 2
 <名詞句1>の中で制限している概念と<名詞句1>が表わす概念の関係は属性概念が具象概念を制限している場合には属性・対象関係である。
- L H 3
 <名詞句2>は<名詞句1>と下位関係、要素関係、対象関係でない。
- L H 4
 <名詞句1>の中で概念が制限されている場合は<名詞句1>は<名詞句2>と同一関係である。
- L H 5
 派生概念が具象概念の下位概念である場合は、具象概念に組み込まれる。
- L H 6
 同一関係にある概念の属する概念は同一である。
- L H 7
 <名詞句2>がclassの場合は<名詞句1>は<名詞句2>と事象関係、上位関係、対象関係、属性関係ではない。
- L H 8
 「<名詞句1 A>と<名詞句1 B>は<名詞句2>です。」という文で<名詞句2>と<名詞句1 A>の関係と<名詞句2>と<名詞句1 B>の関係は同じである。
- L H 9
 「<名詞句1 A>と<名詞句1 B>は<名詞句2>である。」において「<名詞句1 A>と<名詞句1 B>」の表わす概念と<名詞句1 A>、<名詞句1 B>の表わす概念との関係は、上位・下位関係または集合・要素関係である。特に、<名詞句1 A>あるいは<名詞句1 B>がある概念のmemberとなる場合には集合・要素関係である。
- L H 10
 同一のmemberを持つclass同士の関係は同一関係である。
- L H 11
 属性概念の要素である派生概念は属性概念である。
- L H 12
 「<名詞句1>は<名詞句2 A>と<名詞句2 B>である。」という文において、<名詞句1>と「<名詞句2 A>と<名詞句2 B>」の表わす概念は同一関係である。
- L H 13
 属性概念、具象概念への組み込みを開始する基準は、一つでも曖昧性のないパスが存在する場合である。なお、lexは除く。
- L H 14
 派生概念のlexでつながれている概念はその派生概念と同等である。
- L H 15
 同一の階層に属する概念の関係を定義する概念は同一の階層に属する。
- L H 16

LH 17

表2 学習ヒューリスティックスの分類と適用順序

1. 文型に着目したもの: LH 3
 2. 名詞句 1 を考慮したもの: LH 1、LH 2、LH 4、
LH 8、LH 9、LH 17
 3. 名詞句 2 を考慮したもの: LH 7、LH 12
 4. 2 つの概念を結ぶパスを考慮したもの: LH 10
- LH 13 を満たせば以下を適用する。
LH 5、LH 6、LH 11、LH 14、LH 15、LH 16

5. 3 解析

表3 解析ヒューリスティックス一覧

A H 1

A H 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	#1	3	4	1	6	#2	8	9	1
2	#1	2	#3	4	2	6	7	8	9	2
3	#3	3	3	10	3	#3	7	11	10	3
4	4	4	4	10	4	4	4	10	10	4
5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5
6	6	#5	10	4	6	6	#6	8	9	6
7	#2	7	3	4	7	#8	7	8	9	7
8	8	8	8	11	8	8	8	11	#7	8
9	9	9	10	11	9	9	9	#7	11	9
10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11

1:上位・下位関係 2:下位・上位関係 3:対象・属性関係
4:属性・対象関係 5:同一・同一関係 6:集合・要素関係
7:要素・集合関係 8:対象・事象関係 9:事象・対象関係
10:関係がない。 11:解析不能(文として存在しない。)

5. 4 排他性について

(1) 上位・下位関係、集合・要素関係、同一関係で結ばれるノードについて

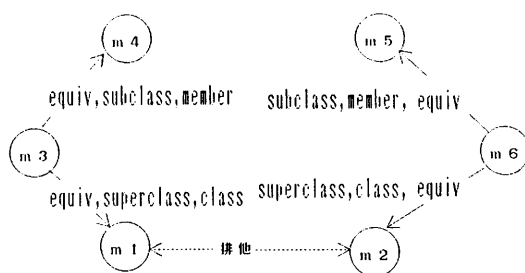


図3 排他性の推論（その1）

図3に示すように二つのノードの間に排他性が存在し、 $\langle m1 \rangle$ と $\langle m4 \rangle$ 、 $\langle m2 \rangle$ と $\langle m5 \rangle$ の関係が同一関係、上位・下位関係、集合・要素関係である時、残りの三組の間にも排他性が存在するという推論を行う。したがって、図3では $\langle m4 \rangle$ と $\langle m5 \rangle$ 、 $\langle m1 \rangle$ と $\langle m5 \rangle$ 、 $\langle m2 \rangle$ と $\langle m4 \rangle$ の間にも排他性が存在する。

(2) 同一のノードに二つの排他性が存在するとき

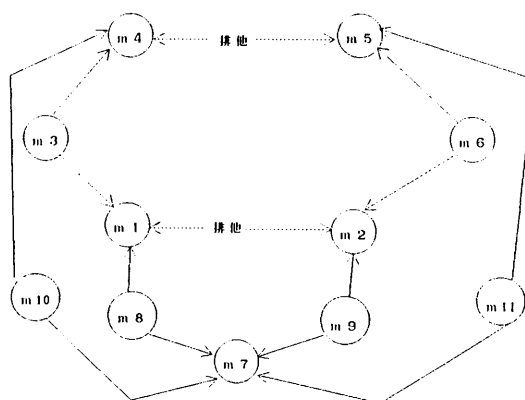


図4 排他性の推論（その2）

図4のように二つのノード間に排他性が存在するとき、その概念と上位・下位関係、集合・要素関係、同一関係にある概念同士もまた排他性を有するという推論を行う。したがって、図4の場合には<m4>と<m5>、<m2>と<m4>、<m1>と<m5>の間にも排他性が存在する。

5. 5 フィードバック学習

上述のようにして得られた解析結果を意味ネットワークに反映させる処理がフィードバック学習である。これには以下に示す2通りの場合がある。

(1) 冗長なパスから得られた情報で直接のパスを制約する。

(2) 直接のパスの関係から冗長なパスの曖昧さを減少させる。

(1) は上述の解析により得られた直接のパスを意味ネットワークに書き込む操作である。また、(2) は解析により曖昧さが減少した直接のパスより冗長なパスの曖昧性を減少させるものである。具体的には、冗長なパスに存在する意味関係のうち直接のパスを制約するために用いなかった意味関係を削除する。これは、同じ2つの概念を結び冗長なパスと直接のパスは等価でなければならないという観点から行うものである。

6. 評価実験

本手法に基づく実験システムをワークステーション LUNA 上に、C 言語を用いて作成し、評価実験を行った。

6. 1 実験方法

実験は図5の初期状態の世界から始めて、表4の23文の名詞述語文を入力して行った。

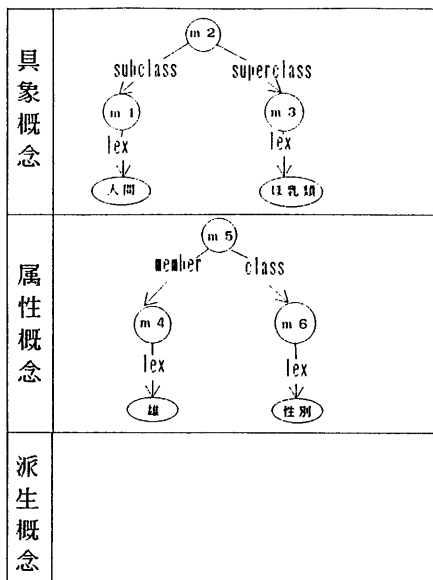


図5 初期状態の世界

名詞述語文が1文入力される度に図2に示される処理を行い、これを23回繰り返している。

表4 入力された名詞述語文

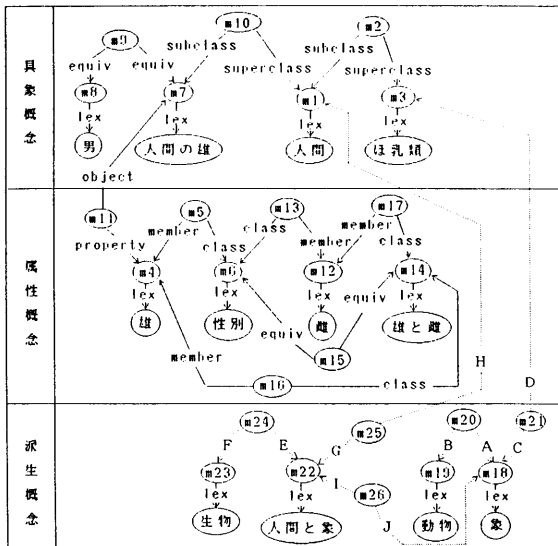
- 人間／の／雄／は／男／です
- 雌／は／性別／です
- 雄／と／雌／は／性別／です
- 性別／は／雄／と／雌／です
- 象／は／動物／です
- 象／は／ほ乳類／です
- 人間／と／象／は／生物／です
- 人間／と／象／は／ほ乳類／です
- 雄／は／性別／です
- ほ乳類／は／動物／です
- 人間／は／動物／です
- 父／は／人間／です
- 父／は／男／です
- 父／は／帰宅／です
- 人間／の／雌／は／女／です
- 男／は／性別／です
- 女／は／性別／です
- 男／と／女／は／性別／です
- ほ乳類／は／生物／です
- 動物／は／生物／です
- 母／は／人間／です
- 母／は／女／です
- 母／は／外出／です

6. 2 実験結果

6. 2. 1 学習の状態

システムの動作を文8の入力を例に説明する。図6は、1から7までの文が入力され、学習された後の世界の状態である。ここで、実線は曖昧さなく一意に決定された弧で破線は曖昧さを含む弧である。

この状態で8の「人間と象はほ乳類です。」が入力され、学習が行われた後の世界の状態が、図7である。このときに働いた学習ヒューリスティックスは、表1のLH3『<名詞句2>は<名詞句1>と下位関係、要素関係、対象関係でない。』である。このLH3により図6の「人間と象」と「ほ乳類」の関係は、図7に示すように「下位・上位関係、同一関係、対象・属性関係、要素・集合関係、対象・事象関係」の5つに限定される。さらに、LH8『「<名詞句1A>と<名詞句1B>は<名詞句2>です。」という文で<名詞句2>と<名詞句1A>の関係と<名詞句2>と<名詞句1B>の関係は同じである。』が動作する。これは、「人間」と「ほ乳類」の関係から「象」と「ほ乳類」の関係を推論するもので、その結果「象」と「ほ乳類」は下位・上位関係に決定される。次に、LH5『派生概念が具象概念の下位概念である場合は、具象概念に組み込まれる。』およびLH14『派生概念のlexでつながれている概念はその派生概念と同等である。』が動作する。これは派生概念である「象」が具象概念である「ほ乳類」の下位概念であることが決定されたので、派生概念である「象」を具象概念に組み込むものである。

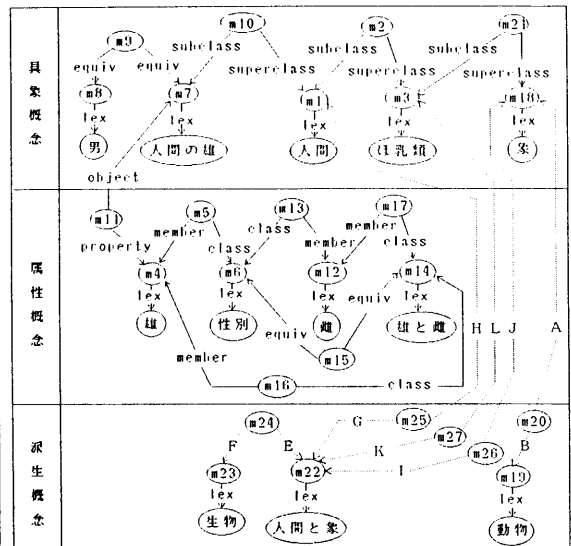


[A, B], [C, D], [E, F]:<-subclass--superclass->
 <-equiv--equiv->
 <-object--property->
 <-member--class->
 <-object--event->
 [G, H], [I, J]:<-member--class->
 <-subclass--superclass->

図6 7文入力後の世界の状態

6. 2. 2 解析の状態

図7の世界の状態で「人間と象」と「は乳類」の関係を求めるために解析を行う。「人間と象」と「は乳類」を結ぶパスは、図8のようになる。解析は図8に示すように(1)(2)(3)の「人間と象」と「は乳類」を結ぶ3つのパスによって行われる。このうち(1)と(2)のパスは他の概念を経由している冗長性のあるパスなので表3の解析ヒューリスティックスを用いて「人間と象」と「は乳類」の2つの概念の間の関係に変換する。この計算の途中で「関係がない」または「解析不能」のみになった場合には計算を打ち切る。この場合には(1)に示すように「上位・下位関係、下位・上位関係、同一関係、集合・要素関係、関係がない」と計算された。同様にして(2)のパスより同じ関係が求められる。また、直接のパスは学習により(3)に示す「下位・上位関係、同一関係、対象・属性関係、要素・集合関係、対象・事象関係」となっている。これらの3つの共通の関係として(4)に示す「下位・上位関係、同一関係」の2つに限定することができる。この結果、学習の終了時には5つの曖昧さがあった関係を世界の状態を考慮することにより2つに減少させることができた。



[A, B], [E, F], [K, L]:<-subclass--superclass->
 <-equiv--equiv->
 <-object--property->
 <-member--class->
 <-object--event->
 [G, H], [I, J]:<-member--class->
 <-subclass--superclass->

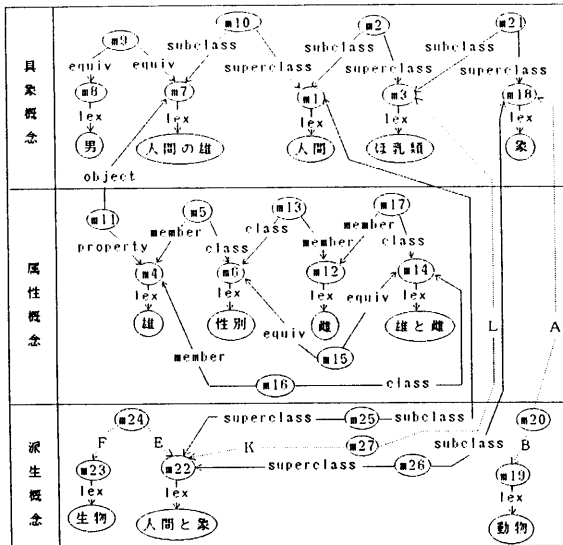
図7 8文入力時の学習終了後の世界の状態

- (1) 冗長なパス1
 人間と象 <- lex - m22 <- G - m25 - H -> m1 (人間)
 <- subclass - m2 - superclass -> m3
 - lex -> は乳類
 [G, H]:<-superclass--subclass->
 <-class--member->
 計算結果: 上位・下位関係、下位・上位関係、同一関係、集合・要素関係、関係がない
- (2) 冗長なパス2
 人間と象 <- lex - m22 <- I - m26 - J -> m18 (象)
 <- subclass - m21 - superclass -> m3
 - lex -> は乳類
 [I, J]:<-superclass--subclass->
 <-class--member->
 計算結果: 上位・下位関係、下位・上位関係、同一関係、集合・要素関係、関係がない
- (3) 直接のパス
 人間と象 <- lex - m22 <- K - m27 - L -> m3
 - lex -> は乳類
 [K, L]:<-subclass--superclass->
 <-equiv--equiv->
 <-object--property->
 <-member--class->
 <-object--event->
 関係: 下位・上位関係、対象・属性関係、要素・集合関係、対象・事象関係
- (4) 解析結果
 関係: 下位・上位関係、同一関係

図8 解析の状態

6. 2. 3 フィードバック学習の状態

フィードバック学習後の世界の状態を図9に示す。



[A, B], [E, F]:<-subclass-:-superclass->
 <-equiv-:-equiv->
 <-object-:-property->
 <-member-:-class->
 <-object-:-event->
 [K, L]:<-subclass-:-superclass->
 <-equiv-:-equiv->

図9 8文入力時のフィードバック学習後の世界の状態

フィードバック学習では、まず解析結果をSNePSへ書き込む。この結果K、Lの関係が下位・上位関係、同一関係の二つとなる。次に、解析結果によって冗長なパスを制約する。この結果を図10に示す。

```
人間と象 <- lex - m22 <- superclass - m25 -
           subclass -> m1 (人間) <- subclass
           - m2 - superclass -> m3 - lex -> ほ乳類
人間と象 <- lex - m22 <- superclass - m26 -
           subclass -> m18 (象) <- subclass
           - m21 - superclass -> m3 - lex -> ほ乳類
```

図10 解析結果による冗長なパスの制約の結果

これは、冗長なパスの曖昧さを解析結果によって解消するものである。具体的には解析結果である冗長なパスで曖昧性を含む部分から解析結果である下位・上位関係、同一関係を算出するのに用いた関係のみを残し、他を削除するものである。この結果、図7で曖昧性のあったG、HおよびI、Jが図9では曖昧さなく一意に決定されている。

6. 2. 4 曖昧さの減少について

図11に23文を入力後の世界の状態を示す。

表5に曖昧さの状態の変化を示す。この値は以下の式によって算出されたものである。

曖昧さ = 総関係数 / 総弧数

6. 3 考察

文8を入力した結果、本手法により「人間と象」と「ほ乳類」の関係を下位・上位関係、同一関係の2つに限定することができた。また、フィードバック学習により「人間と象」と「人間」、「人間と象」と「象」の関係を上位・下位関係に限定することができた。また、図11に示す23文を入力した最終状態の世界では、[7, 8]は誤った関係を示しているが、後は正しい関係あるいは正しい関係を含んでいる。また、曖昧さの度合も表5に示すように9つの関係の中から最終状態で1.9の関係に抑えられている。これは、関係の数を約1/5に限定したことになる。なお、曖昧さは次第に上昇しているが、これは、未知の概念が次々に入力され説明が行われていないためで、これらの概念に対する説明が十分に行われた後には、曖昧さは減少するものと考えられる。これは、名詞述語文の意味概念の学習における本手法の有効性を示していると考えられる。

表5 曖昧さの変化の様子

文	曖昧さ	文	曖昧さ	文	曖昧さ	文	曖昧さ
1	1.0	2	1.2	3	1.0	4	1.0
5	1.2	6	1.4	7	1.6	8	1.4
9	1.4	10	1.5	11	1.6	12	1.7
13	1.8	14	1.9	15	1.8	16	1.8
17	1.7	18	1.7	19	1.7	20	1.8
21	1.9	22	1.9	23	1.9		

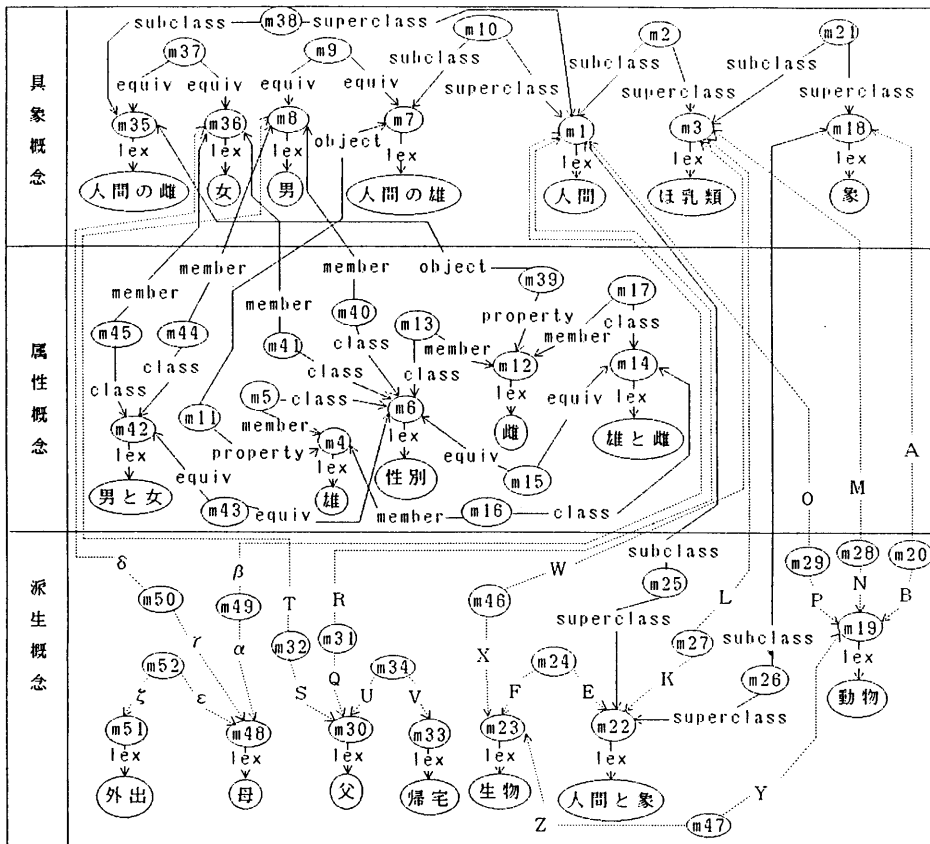
7. おわりに

自然言語理解システムを構築するための一つの基礎として名詞述語文を対象とした意味概念の学習について考察を行った。名詞述語文に出現する名詞句の意味関係を学習し、解析するヒューリスティックスについて考察し、このヒューリスティックスに基づく実験システムを作成して、名詞述語文の学習と解析を行った。実験の結果本手法が、名詞述語文の意味概念の学習に有効であることが確認された。また、未知概念に対しても文が入力されるにつれてその曖昧性を減少させ、意味関係を限定できることが確認された。

今後の課題としては、より一層の曖昧さの減少、本稿では対象としていない文字どおり以外の意味関係、名詞述語文以外の一般の文に対する本手法の適用について研究を進める予定である。

謝辞

本研究に際し、システムの作成で協力していただいた北海学園大学工学部電子情報工学科佐々木淳一君に感謝します。



[A, B], [E, F], [M, N], [Q, R], [S, T], [U, V], [W, X], [Y, Z], [α , β], [ϵ , ζ]:<-subclass-->superclass->
 <-equiv-->equiv->
 <-object-->property->
 <-member-->class->
 <-object-->event->
 [K, L]:<-equiv-->equiv->
 <-subclass-->superclass->
 [0, P]:<-subclass-->superclass->
 <-object-->property->
 <-member-->class->
 [7, δ]:<-equiv-->equiv->
 <-object-->event->

図 1 1 2 3 文入力終了時の世界の状態

参考文献

- 1) 辻井潤一：自然言語理解の歴史と現状、情報処理学会誌、Vol. 30, No. 10, pp. 1142-1149(1989).
- 2) 高橋太郎：名詞述語文における主語と述語の意味的な関係、日本語学、第3巻、第12号、pp. 18-39(1984).
- 3) 草雄裕：「朝倉日本語新講座4 文法と意味II」、1. 文法形式が担う意味、朝倉書店、pp. 1-38(1985).
- 4) 水谷静夫：数理言語学、倍風館(1982).
- 5) 荒木健治、桃内佳雄：名詞述語文における名詞句間の意味関係の解析と学習、情報処理学会第39回全国大会講演論文集、pp. 640-641(1989).
- 6) 奥津敬一郎：「ボクハウナギダ」の文法、くろしお出版(1978).
- 7) S.C. Shapiro: "The SNePS Semantic Network Processing System," in N.V. Findler(ed.), Associative Networks (New York: Academic Press), pp. 179-203(1979).
- 8) S.C. Shapiro and W.J. Rapaport: SNePS Considered as A Fully Intentional Propositional Semantic Network, Proc. AAAI86, Vol. 1, pp. 278-283(1986).