

## 自然言語意味学習の試み

白石正人<sup>1</sup> 横田将生<sup>2</sup>

<sup>1</sup>福岡教育大学教育学部    <sup>2</sup>福岡工業大学言語情報工学研究所

我々は、従来より中間言語に基づく自然言語理解システムの構築を行ってきた。これらシステムは、英語談話を中間言語で意味解釈し、複数の談話文によって結合生成された意味構造に対して質問応答を行うものである。今回、この自然言語理解システムを対象とした知識の獲得、すなわち「概念学習」と一般に称される範疇に属する意味の学習について検討を行い、従来の理解システムに意味学習機能を付加した予備的な実験システムを構築し、自然言語による「意味学習」の実験を行った。本稿では、この概要と今後の本格的な意味学習システム構築へ向けての考察について報告する。

### An Experiment on Learning of Natural Language Meaning

Masato SHRAISHI<sup>1</sup>    Masao YOKOTA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Education, Fukuoka University of Education  
729 Ouaza-Akama, Munakata, 811-41, JAPAN

<sup>2</sup>Language and Information Laboratory, Fukuoka Institute of Technology  
3-30-1 Wajirohigashi Higashi-Ku, Fukuoka, 811-02, JAPAN

The authors have been developing natural language understanding systems based on an interlingua, which enables us to describe human mental image. These are question answering systems, which interpret English discourses into interlingual representations (i.e. meaning structures), and answer to entered questions referring to meaning structures. This paper discusses a method which we call learning of natural language meaning, which belongs to so-called "learning of concept". We have constructed an experimental learning system of natural language meaning by adding some learning processes to the previous system. This paper presents some experimental results and considerations toward the future system.

## 1. まえがき

最近、盛んに研究されているいわゆる「学習システム」と呼ばれるものは、議論世界を数学や物理学等の法則的な対象に限定し、提示された例題から一般的な法則を導出する帰納的な学習の実現を目指したものである。これらの適用分野としてはエキスパートシステム等における「知識獲得」が主に想定されている。今回検討するような自然言語を対象とした意味レベルでの概念学習システムはあまり見受けられない<sup>[1]</sup>。ところで、我々は、従来より中間言語に基づく自然言語理解システムの構築を行ってきた<sup>[2]-[6]</sup>。これらのシステムは、英語談話を中間言語で意味解釈し、複数の談話文によって結合生成された意味構造に対して質問応答を行うものである。このようなシステムにおいては、システム内にあらかじめかなりの情報を知識ベースとして与えてやらなければ、理解処理としての機能を果たすことができない。一般的にこれらシステムの構築方法としては、対象とする議論世界を限定しながら、考え得るすべての知識を予測して設定し、その後理解処理を進めるといういわば力任せの戦略が取られていた。しかしながら、人間における言語理解というものを考慮した場合、その知識は固定化されたものではなく、学習行為等により変化（蓄積、更新、導出）し、またその解釈も各人によって異なる場合があるなど、自然言語理解システムにおける知識処理とはまだ大きな隔りがある。人間を模倣した理解システムを構築しなければならないという必然性はないが、人間の学習過程を解明するという認知心理学的な視点は極めて重要である。一方、エキスパートシステム等においてはエキスパートたる教授者からシステムへの知識伝達は、システム構築を行う際の開発効率上、大きな問題となっている<sup>[7]</sup>。これら種々の問題点に対する解答として計算機による自動学習が期待されている。これは、いうなれば従来人間側が行ってきた知識の情報化における負担を少しでも軽くしようという試みである。我々は、この自然言語理解システムを対象とした知識の獲得、すなわち「概念学習」と一般に称される範疇に属する意味の学習について検討を行い、従来の理解システムに学習機能を付加した予備的な実験システムを構築し自然言語による「意味学習」の実験を行った。本稿では、この概要と今後の本格的な意味学習システム構築へ向けての考察について報告する。

## 2. 従来の知識ベース更新

我々が構築した自然言語理解システムIMAGE S-III等は、図1に示すような構成を有している。ここで、一般に理解システムが保有している知識と考えられるものは、概略以下のようなものである。

- (1) 構文情報を備えた構文辞書
- (2) 単語概念が登録された意味辞書
- (3) "外界及び内界の知識" (長期記憶)

従来これら知識の追加・更新は、特に未知語（システム内に未登録の単語）に関して次のようなアプローチによって行われていた。

- (1) 処理対象とする自然言語文中の未知語を抽出する。

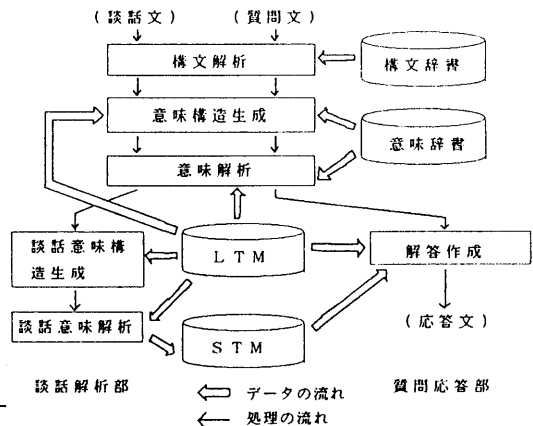


図1 IMAGES-IIIの概念図

- (2)抽出した未知語の構文情報（品詞、動詞であれば必須依存パターンなど）を分析する。
- (3)未知語の意味をなす概念部分を分析・抽出する。
- (4)未知語の概念部分と構文情報の結合関係を記述する操作部分を上記の結果より分析・抽出する。
- (5)生成した各情報は、知識としてシステム辞書に登録する。

その他、新たに出現したシステム内に未登録の文法構造を有する文例は、依存構造文法 (Dependency structure grammar)に基づき分析し、適宜システム内に登録していた。また、“外界の知識”は処理対象の分野にしたがって、適宜分析・登録した。ここで、自然言語理解システムにおける学習という観点から考慮すると、従来とられていたこのような知識ベースの更新処理というものは出来る限り自動化し、理解システムとして自己増殖的に進化するような自己完結形のシステムが最も理想であるが、当面人間を介在とした補完的なシステム形態を考慮しなければならない。

### 3. 意味学習について

自然言語の意味を我々は次のように定義している。

[定義1] 「基本的な自然言語文の意味は、それが指示する事象の概念であり、一般的な自然言語文の意味は、そのような事象概念の論理的結合列で表現される概念である。」

また、ここで言う個々の単語は、概念部とそれが文中の他の単語との同様な部分を結合するための手順（結合操作部と称する。）からなると仮定している。以下にこの概念部と結合操作部について簡単に説明する。

#### 3.1 概念部

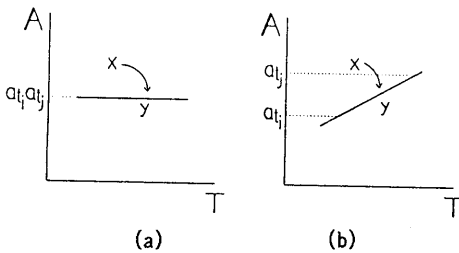


図2 属性空間Aにおける原子軌跡

我々は、単語の概念部を属性空間における軌跡という抽象線図形によって表現している。以下に軌跡式について簡単にふれる。人間の脳に事物のもつ属性とそれぞれ対応する空間を仮定するならば、ある時間帯人間が注意を向けている事物によって引き起こされる様々な感覚刺激は、このような空間内に時間要因をもつ軌跡を生起させると考えることができる。このような空間を属性空間と呼ぶ。属性空間に生じる時間要因をもった軌跡のうち最も基本的なものとして、縦軸に属性空間 (A)、横軸に時刻 (T) を設定することにより図2に表現される

ようなものを考える。図2の中の(a)は事物xの作用により、事物yの属性Aが持続することを、(b)は同じくAが単調に変化することを示している。なお、 $a_{t_1}$ と $a_{t_2}$ はおのおの時刻 $t_1$ と $t_2$ における属性値である。この図で表現されるような軌跡を原子軌跡 ( $\mathcal{A}$ と表示)、それに対応する事象を原子事象と呼ぶ。原子軌跡 $\mathcal{A}$ は式(1)に示す述語式又はそれを略記した形式(2)で定義し、これを原子軌跡式と呼ぶ。

$$\mathcal{A} \cong \mathcal{L}(x, y, a_{t_1}, a_{t_2}, A, P_1, P_2) \quad (1)$$

$$\cong (x, y, a_{t_1}, a_{t_2}, A) \quad (2)$$

但し  $A = (A, P_1, P_2), t_1 < t_2$

A : 属性空間 P<sub>1</sub> : 第1種パラメータ

A : 属性 P<sub>2</sub> : 第2種パラメータ

$E_t$ は空間的事象と時間的事象とを区別する特別なパラメータであり、 $E_n$ は相対属性値を表すためのある基準を与える特別なパラメータである。原子軌跡式は、人間の心像現象（いわゆるイメージ）をモデル化したものであり、心像現象には、時間的なもの（音楽など）と空間的なもの（絵など）がある。従ってそのパターンも時間的なパターンと空間的なパターンが存在する。この違いは、パラメータ $E_t$ に依って表現する。故に、そのパラメータで2通りの解釈がある。

(解釈1) 時間的なパターンの場合「事物 $x$ の作用により事物 $y$ の属性 $A$ が時間帯 $[t_1, t_2]$ でその対応する属性空間 $A$ において単調な値域 $[a_1, a_2]$ をとる。」

(解釈2) 空間的なパターンの場合「事物 $x$ の作用により事物 $y$ の属性 $A$ が物理的空間帯 $[\Delta_1, \Delta_2]$ で、その対応する属性空間 $A$ において単調な値域 $[a_1, a_2]$ をとる。」

一般的な事象に対応する属性空間での軌跡は時間軸方向に分解し、原子軌跡の組み合わせとして記述する。この組み合わせは時間因子を取り入れた結合子によって行う。以下に定義を示す。

同時的連言 "  $\cap$  " :  $\mathcal{A}_1 \cap \mathcal{A}_2 \cong \mathcal{A}_1 \wedge \mathcal{A}_2 \wedge (t_1 = t_3 \wedge t_2 = t_4)$  (7)

継時的連言 "  $\cdot$  " :  $\mathcal{A}_1 \cdot \mathcal{A}_2 \cong \mathcal{A}_1 \wedge \mathcal{A}_2 \wedge (t_2 = t_3)$  (8)

同時的含意 "  $\supset$  " :  $\mathcal{A}_1 \supset \mathcal{A}_2 \cong (\mathcal{A}_1 \rightarrow \mathcal{A}_2) \wedge (t_1 = t_3 \wedge t_2 = t_4)$  (9)

同時的選言 (排他的) "  $\cup$  " :  $\mathcal{A}_1 \cup \mathcal{A}_2 \cong (\mathcal{A}_1 \oplus \mathcal{A}_2) \wedge (t_1 = t_3 \wedge t_2 = t_4)$  (6)

$\wedge$  : 連言  $\rightarrow$  : 含意  $\oplus$  : 選言 (排他的)

なお属性空間の詳細については、省略するがくわしくは文献[6]を参照されたい。

### 3.2 結合操作部

結合操作部は表層構造の構文解析結果から意味構造に翻訳する手続きである。我々は依存構造文法による解析で得られる表層依存構造より意味構造を生成する為の操作を抽出した。この結合操作手続きは操作命令及び条件命令より成っている。

この操作命令は次の3種類がある。

- (1) ARG ( $\Gamma_1, \Gamma_2$ ) …… 当該単語の概念部の変項 $\Gamma_2$ に、その単語と依存関係にある単語の概念部の変項 $\Gamma_1$ を代入する。
- (2) PAT ( $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$ ) …… 事象パターン $\Gamma_2$ を $\Gamma_1, \Gamma_3$ の両者が共に含む時に限り、 $\Gamma_2$ を共有するように $\Gamma_1, \Gamma_3$ を結合する。
- (3) LOG ( $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$ ) …… 式 $\Gamma_2$ で表される概念を $\Gamma_1, \Gamma_3$ の両者が共に含む時に限り、 $\Gamma_2$ を共有するように $\Gamma_1, \Gamma_3$ を結合する。

操作命令は次の条件命令との組み合わせにより、一つの結合操作を形成する。

- (4) COND ( $\Gamma_1, \Gamma_2$ ) ……  $\Gamma_1$ の品詞が $\Gamma_2$ であるという条件を表し式(10)の形式で用いる。

$$\text{COND} (\Gamma_1, \Gamma_2) \rightarrow O_1, O_2, \dots, O_n; \quad (7)$$

$O_1, O_2, \dots, O_n$ は結合操作命令の列であり、条件命令が真か存在しない時に限り実行される。

我々の言う「意味学習」とは、表層の記号列によって表現される単語と深層の心象レベルにおいて想起されるイメージ（軌跡式の結合列に相当する。）の対応関係を学習し、かつその単語が使用される自然言語文中の構文的な手順である結合操作についても学習することが必要であると考えられる。しかしながら、我々の理解システムにおいて最も重要なものは、意味構造における概念部についてである。自然言語が有する意味は、最終的にこのような意味構造の概念部に帰着する。故に当面「意味学習」においては、意味構造中の概念部についての学習を指すものとする。一般的に用いられる「概念学習」は、述語論理的表層的な述語をベースにしたものであり、我々の目指す深層レベルの「意味学習」とはこの点において異なる。

#### 4. 知識伝達モデルの設定

自然言語理解システムにおける意味学習を考慮した場合、知識の伝達形態は大きな問題である。意味学習システムのもとでは、教授者（人）から計算機システムへの教授行為に基づき、知識の伝達・蓄積が行われる。その伝達は図3のモデルに示すように言語的表現（自然言語や数式等）や非言語的表現（図形や音声等）を媒体にし、両手段が協調的ないし相補的に用いられていると考えられる。ところで人間相互の知識あるいは情報伝達を効率的にするため、従来から様々な分野において非言語的表現と言語的表現が用いられている。これは以下のような理由によるものと考えられる。

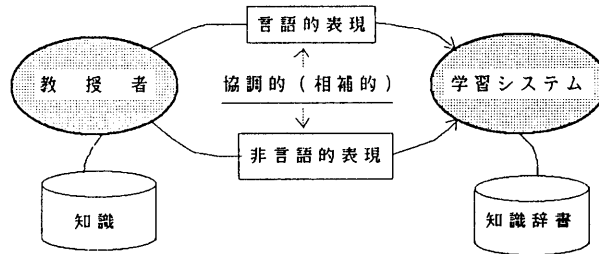


図3 意味学習システムの知識伝達モデル

言語的表現は社会的に約束された共通の表層的構造体系（文法）や意味体系を有しており、人間はそのような構造（表層構造）から意味やそれに伴う知識を得るための解釈方法も習得・学習している。したがって解釈側や学習者は、言語的表現それのみで送出側や教授者の伝えたい情報や知識を社会的に約束された共通のレベルで得ることが可能である。しかしながら、この場合得られた情報や知識はときには抽象的であり具体性に欠ける状況に陥ることがある。一方、非言語的表現特に図形による場合には言語的表現と異なりその構造や意味に関して社会的通念に基づいた共通の体系や形式的な解釈方法は一義的には存在しない場合がほとんどである（交通標識や天気図等の例外を除いて一般的な情報・知識伝達を考慮したものに限定した場合である。）。したがって、非言語的表現それだけでは、解釈側や学習者は、どのように解釈し理解してよいかかわからないことが多く、非言語的表現のポイント（意味をなす部分）を言語的表現やあるポインター（指示棒）によって指示してやる必要が生じる。しかしながら、非言語的表現は対象事物や事象そのものの描写または、それを抽象化したものであるため、解釈方法が与えられれば伝達内容は具体的でかつ印象的である。特に共通の知識基盤を持つと仮定される情報伝達に比較して、知識伝達は教授者と学習者の知識レベルに差があるため、言語的表現に加えて非言語的表現を協調的ないし相補的に用いことが多いとする仮定は極めて妥当であろう。いずれかを主体とするかは、伝達する相互の知識レベルの差や内容に依存してくるものと考えられる。

#### 5. 知識獲得の例

我々が試みた意味学習の実験は、IMAGES-IIIに学習機能を付加した予備実験的なシステムにおいて行った。図1は、従来のIMAGES-IIIの構成の概略を示したものであるが、この構成では”長期記憶”（LTM）や意味辞書の更新が不可能なものになっている。したがって、学習機能を実現させるためにまずこの点を中心に改良を試みた。図4に、学習機能を付加したIMAGES-IIIの概要を示す。

### 5.1 実験システムの記憶構造

この実験システムにおいて変更されたものとしては、知識ベースの記憶構造である。本システムにおいては、3階層の記憶構造を取り入れている。以下に各記憶構造について簡単に解説する。

#### (1) STM (Short Term Memory)

入力単文の意味構造（概念部を指す。）を記憶させるメモリーである。従来のシステムでは、単文の意味構造を結合子によって結合された談話の意味構造を記憶するものであった。今回のシステムにおいては、単文入力毎にその内容は更新される、いわばバッファメモリーである。

#### (2) MTM (Medium Term Memory)

現在の談話内容を談話意味構造として記憶するメモリーである。今回、STMとLTMの間に新たにこのMTMを設定した。この中間的な記憶構造は、一般化操作を行うための一種のワーキングメモリーとして機能する。

#### (3) LTM (Long Term Memory)

いわゆる”外界と内界の知識”に相当するが今回のシステムにおいては、書換え可能なメモリーである。この知識には、以下に示すようなものが格納されている。知識の体系的な構成は、くわしくは文献 [5] にゆずり、ここでは、直接関与する知識のみを記述した。

##### ①法則に関する知識

現実世界の知識において、「氷がとけると水になる。」等の一般的な法則、すなわち推論規則として用いられる知識である。

##### ②事物概念間の知識

事物概念間の包含関係を記述した知識である。

##### ③事物自身の性質に関する知識

外界事物や内界事物自身の性質に関する知識であり、その事物が取り得る属性を示している。

### 5.2 実験例

以下に本実験システムにおいて試みられた意味学習の実験例について説明する。

まず未知語”returns”の意味構造を入力談話より帰納的に学習した例について解説する。

ある入力談話文（この場合は単文である。）においてシステム内に未登録の単語が入力された場合、構文解析の段階で、構文解析不能のメッセージと共に未登録語の意味構造の問い合わせが行われる。

<例1>”returns”の概念学習

L1:Tom returns from Osaka to Tokyo.

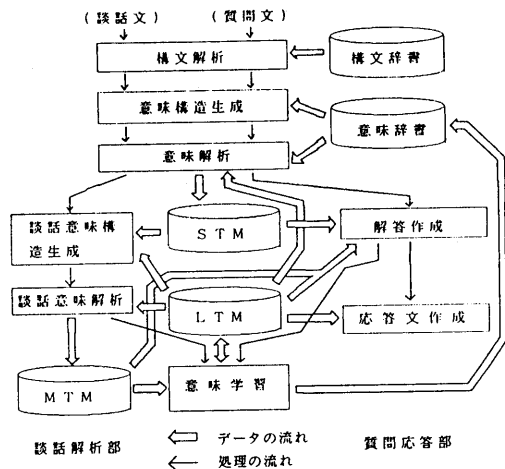


図4 実験システムの概要

この段階で未知語”returns”の意味構造を入力する。

[例文入力]

D1:Tom stays in Tokyo.

D2:Then, Tom goes to Osaka.

D3:Then, Tom goes to Tokyo.

これらの談話文は、通常の談話入力と同様の処理過程を経て図4に示すように、単文毎に各々意味構造が生成され、最終的に談話意味構造として統合され、以下のような意味構造となる。

[意味構造]

$(\phi, \text{TOM, TOKYO, TOKYO, A12}) \cdot (\phi, \text{TOM, TOKYO, OSAKA, A12}) \cdot (\phi, \text{TOM, OSAKA, TOKYO, A12})$

ここで、上記の結果は意味学習過程に渡され、この中で一般化操作が施される。本実験システムにおいて施された一般化操作は、単純に定項を変項に変換する操作のみである。ただし、異なる定項はすべて異なる変項に置換している。ここで問題となるのはこのような一般化操作だけでは、任意要素（例えば、形容詞など。）が含まれる談話がたまたま入力された場合にそれが削除出来ないことである。

[一般化操作]

$\{*x1*/\text{TOM}, *p1*/\text{TOKYO}, *p2*/\text{OSAKA}\}$

また、変項に置換されてはならない必須の定項などもこれでは同様に置換されてしまう。しかしながら、今のところ意味辞書に必須の定項を含むような事象概念は見当たらない。ただし、事物概念間の包含関係において変項が限定されている場合がある。この一般化操作はあくまでも過渡的なものであり、今後さらに検討を加える必要がある。この操作によって、最終的に”returns”の意味辞書に以下の概念部が登録される。

[登録された知識]

$(\phi, *x1*, *p1*, *p1*, A12) \cdot (\phi, *x1*, *p1*, *p2*, A12) \cdot (\phi, *x1*, *p2*, *p1*, A12)$

次の例は、”jealousy”の法則を疑問文と対において、導出したものである。

<例2>”jealousy”の法則学習

D1:Tom loves Mary.

D2:She loves Jim.

[意味構造]

$(\text{MARY, TOM}, *p*, v(0,7,0,0,0), B05) \cap (\text{JIM, MARY}, *q*, v(0,7,0,0,0), B05), B05)$

ここで、システムに対して次のような質問を与える。

Q1:Do you think that Tom feels jealousy to Jim ?

[疑問文意味構造]

$(\text{YOU}, \text{MPF}, *p*, \#INF, B03) \wedge \#INF=(\text{JIM, TOM}, *o*, v(-5, -7, 7, 0, 3), B05)$

解答作成過程において疑問文の意味構造とパターンマッチする談話意味構造を調べるが、該当するものがないので、これは失敗に終わる。次にLTMの法則に関する知識を呼出しさらに、演繹的推論を試みるが同様に失敗し、最終的に「閉世界仮説」<sup>16)</sup>により「わからない」という旨のメッセージを出力し、意味学習を起動するか否かをオペレーターに問い合わせる。意味学習過程に入るとさらに、この疑問文に対する答が問われる。ここではYesと仮定している。ところで、先の処理過程において談話中に疑問文とパターンマッチする意味構造が存在しないことはすでに明白となっている。したがって、推論規則（法則に関する知識）としてシステム内に登録される。ただし”Do you think that”の意味構造部分は、システムに対する問い合わせの意味構造を含んでいるため、強制的に削除される。

最終的に以下の意味構造に変換される。

[意味構造]

(JIM,TOM,\*o\*,v(-5,-7,7,0,3),B05)

以後<例1>と同様の一般化操作が施され、法則に関する知識としてLTMに登録される。

[一般化操作]

((\*x1\*,\*y1\*,\*p1\*,v(0,7,0,0,0),B05)  $\cap$  (\*z1\*,\*x1\*,\*p2\*,v(0,7,0,0,0),B05)

$\rightarrow$ (\*z1\*,\*y1\*,\*p3\*,v(-5,-7,7,0,3),B05))

## 7. むすび

我々は、概念学習システムを図3に示すように2つの知識伝達手段を持つものを考察した。言語的表現による学習形態は、目的とした知識を自然言語で記述し、蓄積された知識辞書を参照して、意味構造を形成し、最後に一般化操作を施し、他の知識との整合性をチェックして記憶する。非言語的表現によるものは、高度な認識装置が必要となり、対象分野を限定しなければ、実現が難しい。しかしながら、非言語的表現は、先の例に示されるような"stays", "goes"等の基本的な事象概念を記述する単語の学習を考慮した場合、非常に重要な知識伝達手段である。したがって、この意味表現と直接対応する抽象線図形をここで言う抽象化された非言語的表現として用いることを検討している。我々の意味記述は、そもそも抽象線図形が意味を記述するベースを構成しており、その対応が一意であるため、基本的にこの変換と、いう点において極めて効率的である。

また、本稿では従来の自然言語理解システムの一部を変更して実験的な「意味学習」の試みを行い、この結果について報告した。ここでは、概念部の一般化操作や、整合性のチェック等はまだ完全に整理されていない。体系的に分析・検討することがぜひとも必要である。しかしながら、例に示すように知識辞書に登録されている事象概念"stays", "goes"などから、1つの談話例によってその複合概念"returns"を帰納的に導出している。本実験において用いられた一般化操作は、極めて単純であるにも関わらず、パターンマッチングの機能と併せて、ある程度の学習機能を満足することが判明した。さらに、学習談話をうまく設定し入力することによって、この学習効果が向上することが予測される。

今後は残された多くの課題を検討し、さらに本格的な「意味学習」システム実現の可能性を探りたい。

## 参考文献

- [1]仁木,石崎:"概念の帰納的学習",人工知能学会誌,Vol.3, No.6, Nov, pp.13-21, 1988
- [2]吉武,横田,田町:"自然言語理解システムIMAGES-Iの構文解析過程について",信学論(D), VOL J67-D, No.10, pp.1147-1154(昭和59年10月)。
- [3]横田,吉武,田町:"自然言語理解システムIMAGES-Iの意味解釈過程について",信学論(D), VOL J69-D, No.3, pp.777-784(昭和61年3月)。
- [4]横田,吉武,田町:"自然言語理解システムIMAGES-Iの出力合成過程について",信学論(D), VOL J70-D, No.11, pp.2267-2272(昭和62年11月)。
- [5]横田,吉武,田町:"中間言語による自然言語理解の試み",情報学知識工学と人工知能学会研究会資料, 31-4, pp.1-8(1983)。
- [6]吉武,横田他:"自然言語理解システムIMAGES-III",「知識情報処理」シンポジウム, S60年9月, pp.17-26
- [7]溝口,角所:"知識獲得支援システム",人工知能学会誌,Vol.3, No.6, Nov, pp.50-58, 1988