

自然言語処理ソフトウェア

田中 裕一

(財) 新世代コンピュータ技術開発機構

第6研究室

東京都 港区 三田 1-4-28

ytanaka@icot.or.jp

概要

第五世代コンピュータ・プロジェクトにおける自然言語処理の目的は第五世代プロトタイプ・マシンに対する知的なユーザ・インタフェースを開発することである。

われわれは、本プロジェクトの前期・中期において談話理解の数学的、言語的理論を研究し、それに基づいていくつかの実験システムを試作した。後期では、これらのソフトウェア開発の成果および経験に基づき、自然言語処理のための汎用的なツールを開発し、それをを用いて談話処理のための実験システムを試作してきた。

後期の自然言語処理の目標としては以下の4テーマをあげることができる。

第1のテーマである言語知識ベースは、日本語文法や日本語辞書など、自然言語処理のための基本的な知識を集めたものである。第2のテーマである汎用日本語処理系においては、特に日本語処理のための基本的なツールをこれまでにいくつか開発してきた。ツールとしては、形態素解析、構文解析、文生成、例文検索などのためのものが用意されている。以上2テーマがわれわれの自然言語処理のためのインフラストラクチャを形成する。

われわれの第3のそして中心的なテーマは談話処理における実験である。この分野においては、文章生成、談話構造抽出、対話システムなどに関していくつかの実験システムを試作した。

最後のテーマは並列処理である。ここでは、協調的な並列自然言語処理を実現するために、形態素解析、構文解析、意味解析を型推論の枠組みで一様に統合化している。

1 はじめに

機械と人間との間の知的なインタフェースの確立のためには、談話処理の研究が不可欠である。談話処理においては、機械が人間の発話の内容を理解し、人間の意図を推論するといういわゆる談話理解の研究だけでなく、主張を持った一貫性のある文章を機械の側から発話するという文章生成の研究も同時に行っている。われわれは、この談話処理を研究開発の中心におき、それを支援するためのツール

Parallel Natural Language Processing

Morphological, Syntactic, Semantic Analysis
based on Type Inference

Natural Language Interface

Discourse Processing Systems

Linguistic
Knowledge-base

Language
Tool Box

図1: 自然言語処理ソフトウェアの概観

やデータなどインフラストラクチャの開発も進めている。

言語知識ベースは日本語文法と日本語の辞書を含む自然言語処理のための基本的な知識を集めたものである。われわれは単一化文法の形式化に基づいて句構造文法の形で記述した日本語文法を作成した。これまでに、実用のために十分な大きさを持ち、一般の研究者や開発者が利用可能であるような日本語文法というものはなかった。われわれの日本語文法はこの2点を目的として開発された。すなわち、この文法は日本語の言語現象の網羅的な調査の結果を反映したものであり、DCG (Definite Clause Grammar)

で書かれているので、多くの環境のもとで動作させることができる。

われわれはまた依存文法の形式化に基づく日本語文法を開発した。構文的な曖昧性を排除するためには、依存構造に対する構造的、言語的な制約を導入した。これらの制約は文中の各語や2語の対に対する「ランク」という新しい概念に基づいている。

日本語文法に加えて、われわれは形態素解析用の大規模な日本語辞書を開発した。これは、新聞記事の形態素解析のためにも使用することを目的として、40,000以上の固有名詞を含むおよそ150,000の語彙を持っている。以上の日本語文法と日本語辞書に関しては第2節で述べる。

汎用日本語処理系は自然言語処理、特に日本語処理のための基本的で汎用的なツールの集まりである。これまでに開発してきたいくつかの実験システムのための入出力モジュール、すなわち主に日本語を対象とした形態素解析、構文解析、文生成などのツールは、他の自然言語処理応用システムのためにも有用であることがわかった。そこで、各モジュールのユーザ・インタフェースの改良、予期せぬ入力などに対する補強、効率の改善などを施し、これらのツールを他のさまざまな応用に使い易くするようにしてきた。

現在では、入出力モジュールだけにとどまらず、文法や辞書の作成者のための支援システムとして、例文検索ツールや文法開発支援システムなどもこのツール群の中に含まれている。汎用日本語処理系の内容と、ソフトウェアの公開については第3節で述べる。

談話処理システムの試作はわれわれの研究のメイン・テーマである。われわれはこれまでに、談話に関する言語現象の規則化を行ってきた。またそれを用いて、文章生成、談話構造抽出、対話システムなどの実験を行ってきた。文章生成システムは、自分の信念や判断に基づいて、与えられたテーマに関する立論を行い、1つ以上の段落からなる文章を生成する。談話構造抽出システムは文脈現象に関する規則を「文脈文法」として用い、与えられた文章の構造を木構造のような形に組み上げる。対話システムはユーザの意図や状況、地位などを用いて対話を行い、ユーザの誤解を解くなど、ユーザに親切な応答を行う。これらのシステムに関しては第4節で述べる。

並列自然言語処理としては、協調的な処理の実験のための小規模なシステムを試作した。ここでは形態素解析、構文解析、意味解析が強推論という一様な枠組みの上に統合化されて協調的に動作する。このシステムはマルチ PSI の上で動作し、32PE を用いて約12倍の台数効果を達成した。このシステムの詳細に関しては第5節で述べる。

図1に、これら4テーマの全体の活動の概観を示す。

2 言語知識ベース

言語知識ベースは日本語文法と日本語の辞書を含む自然言語処理のための基本的な知識を集めたものである。われわれは単一化文法の形式化に基づいて句構造文法の形で記

述した日本語文法を作成した。一般からの入手や利用が容易であるような標準的な日本語文法というものはいまだにない。これは、自然言語(日本語)処理において、自分のアイディアを確かめるための実験システムや、各分野への応用システムを作ろうとしている研究者にとっての大きな障害である。われわれの日本語文法はこのような障害を乗り越えるために開発されており、次のような意味で標準的な文法になるように設計されている。すなわち、この文法はほとんどの一般的な言語現象をカバーし、さまざまな環境での共通形式と呼んでもよい DCG (Definite Clause Grammar) で書かれている。われわれはまた依存文法の形式化に基づく日本語文法を開発した。歴史的には、日本語の語順制約は緩いので依存文法で容易に記述できると考えられてきたために、多くの日本語の依存文法がある。われわれは依存構造において、構文的な曖昧性を排除するための構造的、言語的な制約を導入した。これらの制約は文中の各語や2語の対に対する「ランク」という新しい概念に基づいている。

日本語文法に加えて、われわれは形態素解析用の大規模な日本語辞書を開発した。これは、新聞記事の形態素解析のためにも使用できることを目的として、40,000以上の固有名詞を含むおよそ150,000の語彙を持っている。

言語知識ベースの詳細な記述は本会議の ICOT セッション [Sano and Fukumoto 92] で発表される。

2.1 日本語文法

2.1.1 局所単一化文法

従来の計算機用の日本語文法は、形式化が不十分であったり、詳細の度合が一樣でなかったり、扱う言語現象が網羅的でなかったりしたため、実用的な応用に用いるのが困難であった [Kuno and Shibatani 89] [Masuoka 89] [Nitta and Masuoka 89]。

われわれは言語現象の網羅的な調査を行い、それらの現象を説明するための規則を集め、DCG [Pereira 80] の形式で客観的に記述した。この記述は単一化文法の形式化 [Calder 89] [Carlson 89] [Moens 89] に基づいている。この規則は現代の文章語テキストに現れる現象をほとんどカバーしている [Sano 89] [Sano et al. 90] [Sano and Fukumoto 90]。これらの言語現象は、それぞれに対応する表層表現の複雑さによって分類され [Sano 91]、さらに文法規則はまたそれぞれに対応する言語現象によって分類される。表1に現象(規則)の分類を示す。

文の構文意味構造を図2に示す。この図において、事態(SOA)はネストした構造のうち最も内側の部分構造である。SOAはいくつかの格や任意補語がついた述語の形をしている。SOAが1つ以上組み合わせられて叙述ができる。文の意味内容は、叙述の前に Topic が付いたものである。さらに、最終的に組み上がる文の意味には Modal によって表現される話し手の意図が含まれる。

この構造に従って、表1に示す各レベルの規則はいくつ

表 1: 文法規則の分類

level	phenomena
1~2	single predicate
3~4	negation / aspect / honorification
5	subject+complement+predicate / topicalization
6	passive / causative
7~8	modification (to nouns / to verbs)
9	particles (1) / coordination (2)
10~11	compound sentence / condition
12	particles (2) / coordination (2) / conjunction

かのグループに分けられる。一番外側のグループの規則は、文末表現から話し手の意図を解析する。2番目のグループの規則はトピック-コメント構造を解析する。このトピック-コメント構造とは、助詞「は」でマークされて主題化された名詞句と主述語との間の依存関係である。そして叙述、態などを解析する規則がそれに続く。

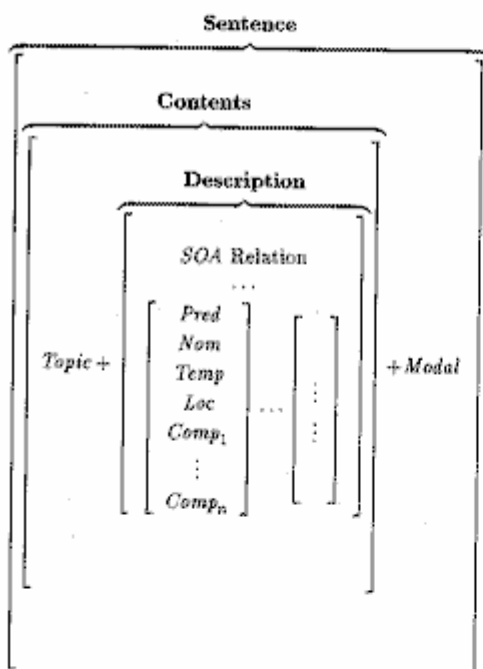


図 2: 文の構文意味構造

LUGの文法規則の例として、トピック-コメント構造を解析する規則を図3に示す。

2.1.2 制限依存文法

日本語の語順には厳しい制約がない [Kodama 87] とされているために、日本語に対しては依存文法に関する多く

$$\begin{aligned}
 & Cat_0(SYN_2, X_2, \left[topic(X_2, \left\{ \begin{array}{l} SYN_1, \\ REL_1, \\ F_1 \end{array} \right\}) \mid REL_2 \right], F_2, (X, Z)) \Rightarrow \\
 & Cat_1(SYN_1, X_1, REL_1, F_1, (X, Y)), \\
 & Cat_2(SYN_2, X_2, REL_2, F_2, (Y, Z)).
 \end{aligned}$$

図 3: LUGの文法規則の例

の研究が行われてきた。

これらの研究においては、ある語が他の語に依存するかどうかを決定するためにグローバルな情報が用いられず、もっぱら対象とする2語の情報のみによっていた。しかし、このような局所的な情報はトピックや省略などを含む文全体の構造を認識するには不十分である。それゆえ、このような依存構造解析からは文の誤った解釈が生じることになる [Sugimura and Fukumoto 89]。

われわれはこの種の構造的な曖昧さを排除するため、依存構造における構造的、言語的な制約を導入した。これらの制約は文中の各語や2語の対に対する「ランク」を用いて記述される。ランクは語の間の係り受けの強度を表すもので、文全体の大局的な情報を反映している [Fukumoto and Sano 90]。ランクの定義とそれに関わる制約の詳細は [Sano and Fukumoto 92] において述べられている。

図4は構文的な曖昧さとその解消を表している。「彼が(φ₁ヲ)呼ぶと(φ₂ガ)出てきた」という文は、ランクdのアーチの上を越えてランクaのアーチを張ることができないという制約のために、解釈(a)だけが採用されている。

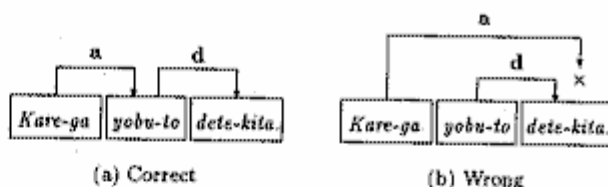


図 4: RDGによる曖昧性の除去

2.2 日本語辞書

われわれは汎用日本語処理系LTBの一つのツールとして例文検索システムを開発した。例文検索システムでは膨大な量のテキスト・データを必要とし、このためには人手によらない形態素解析が必要である。われわれの大規模な日本語形態素辞書はこの目的のために設計された。

この日本語辞書には約40,000語の固有名詞を含むおよそ150,000の語彙が入っており、新聞記事などの形態素解析にも使用することができる。

2.3 ソフトウェアの公開

以上に述べた日本語文法と日本語辞書はICOTから公開、配布される予定である。DCG形式の日本語文法はProlog環境で容易にインストールできる。日本語辞書は、見出し

語に対して TRIE インデックスを作成するプログラム、およびそのインデックスを利用して高速に辞書をアクセスするプログラムも一緒にして配布される。これらの辞書プログラムは C 言語で書かれている。

3 汎用日本語処理系

汎用日本語処理系は日本語処理のための基本的で汎用的なツールの集まりである。本プロジェクトの前期・中期において、談話理解のための実験システムを試作してきたが、その実験の結果、これらのシステムで用いられてきた入出力モジュール、すなわち主に日本語を対象とした形態素解析、構文解析、文生成などのツールは、他の自然言語処理システムのためにも有用であることがわかった。それ以来、各モジュールのユーザ・インタフェースの改良、予期せぬ入力などに対する補強、効率の改善などを施し、これらのツールを他のさまざまな応用に使い易くしてきた。

現在では、入出力モジュールだけでなく、文法や辞書の作成者のための支援システムとして、複雑なキーによる検索も可能な例文検索ツール、日本語文法の開発のための編集、実験、評価ツールなども含むようになった。

これらのソフトウェアは汎用の目的で設計されてはいるものの、ICOT で開発された逐次型推論マシン PSI のためのユーザ言語である ESP で書かれているため、どのマシン上でも動くというわけにはいかなかった。この問題を解決するため、われわれはこれらのソフトウェアを CESP (Common ESP) 言語に移植しつつある。CESP というのは、ESP と似た仕様を持つオブジェクト指向論理型言語で、多くの UNIX 汎用ワークステーション上で動かすことを目的に開発されたものである。

3.1 形態素解析ツール

LTB のフロント・エンドに位置する形態素解析システム LAX は、分かち書きされていない日本語文の文字列を解析し、形態素の列を語の列へと組み上げ、さらにそれぞれの語の意味を構成する [Kubo *et al.* 88] [Kubo 89] [Sugimura *et al.* 88] [Okumura and Matsumoto 87a] [Okumura and Matsumoto 87b]。このツールは、当初仮名漢字変換のために作られた接続行列 [Aizawa and Ehara 73] を利用している。さらに、形態素辞書は検索スピードを上げるために TRIE インデックスを持っている。

一つの入力文に対して、一般には複数個の形態素解析結果が得られるので、ここでは文節数最小法によって最尤解を得ている [Yoshimura *et al.* 82]。このシステムの中で使われている形態文法は [Morioka 87] および [Sano *et al.* 88] に従ったものである。

またこのシステムのもう一つの目的は、形態文法や辞書の開発、拡張を容易にすることであり、それを考慮したユーザ・インタフェースになっている [Shiraishi *et al.* 90] [Yoneda *et al.* 89]。

LAX の詳細な構成を図 5 に示す。この図の全体システムは ESP (Extended Self-contained Prolog) 言語で書かれ、PSI マシン上で動作する。われわれは現在、本システムを UNIX ワークステーション上の CESP (Common ESP) 言語に部分ごとに移植しているところである。

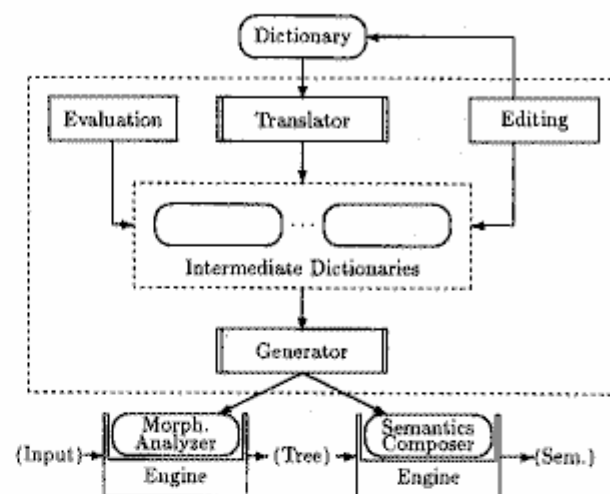


図 5: LAX のシステム構成

3.2 構文解析ツール

構文解析ツール SAX の基本アルゴリズムは、AX (Analyzer for syntaX) と呼ばれ、並列パーザとして最初、並列論理プログラミング言語 Parlog で書かれた、AX を並列言語 GHC [Ueda and Chikayama 90] に移植したものは並列パーザ PAX となり、Prolog と ESP に移植したものが逐次パーザ SAX [Matsumoto and Sugimura 87] [Okumura and Matsumoto 87a] となった。

その後、PAX は KL1 で書き直され、マルチ PSI の上の実用的なパーザとして用いられている [Okumura and Matsumoto 87b] [Sato 90]。一方逐次パーザ SAX は、PSI マシン上の ESP バージョンと、UNIX ワークステーション上の Prolog バージョン (京都大学で作成) が動いている。

3.3 文法開発支援システム

文法開発支援システム LINGUIST は図 6 に示すとおり、さまざまな機能の一つに盛り込んだ構造をしており、開発中の文法の評価、実行のトレース、修正などを文法開発者が容易に実行できるようにすることを目的としている。

このシステムには Generator, Accessor, Debugger と呼ばれる 3 つのツールがある。Generator は BUP トランスレータ [Matsumoto *et al.* 83a] [Matsumoto *et al.* 83b] 自身であり、DCG (Definite Clause Grammar) [Pereira 80] で書かれた文法規則を読み、構文解析プログラムを生成する。こうして作られたパーザは本システムの核をなす。

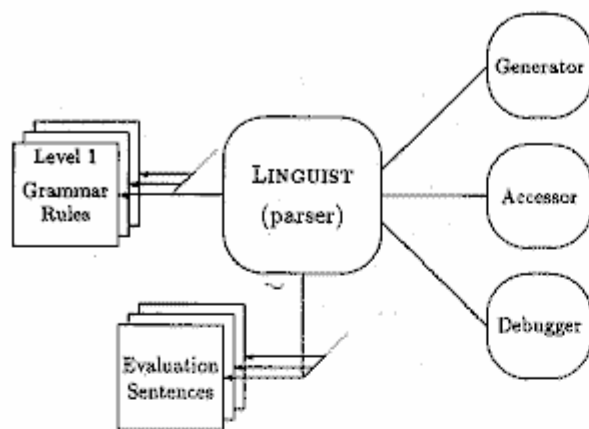


図 6: LINGUIST のシステム構成

Accessor は、文法の評価用例文や解析結果の内部表現などの言語データを管理するツールである。複雑にネストした内部構造 (2.1.1 参照) を持つ解析結果でも、Accessor 中のインスペクタを用いてフレーム構造あるいはグラフ構造の形に見やすく表示できる。

Debugger はスクリーン・トレーサとソース・レベル・デバッガからなる。前者はパーザの実行中に (部分) 構文木をそこで使われた文法規則とともに動的に表示する機能を持つ。また後者は、パーザの実行中に、そのパーザに対応する原文法の規則を修正する機能を持つ。

LINGUIST システムに関しては、システム全体がそのまま CESP に移植されており、UNIX マシン上で動作する。

3.4 例文検索ツール

文法や辞書の開発にあたって、文学や新聞、文書などの生きたテキストから現実の言語データを収集することは不可欠である。例文検索ツール KWIC (Keyword in Context) システムはこの目的のために設計されている。これは膨大なテキストデータを蓄え、そのデータに対する検索機能を備えている。一つの語あるいは語の組合せがシステムに入力されると、システムはテキスト・データベースを検索して入力語を含んだ文をすべて表示する。

われわれの例文検索ツールは、語だけでなく、さまざまな形式の複合キーワードを許す:

$$k_1 f_1 k_2 \dots f_{n-1} k_n$$

ここで k_i は i 番目のキーワード、 f_i はフィルラーである。フィルラーはキーワード間の無視する語数を指定するもので、0 または有限の長さを指定しても、ワイルド・カードにしてもよい。キーワードは次のいずれか、またはその組合せであり、

- Surface form (kanji, inflected)
- Root form (kanji, uninflected)
- Reading (kana)
- Part of speech
 - Inflection type
 - Inflected form

次のような複合キーワードを指定できる:

```
{ POS/ verb,
  Inflected-form/ rentai-kei }.
```

このシステムは最初は PSI 上で ESP によって書かれ、次いでシステム全体が CESP に移植された。

3.5 その他のツール

その他の LTB ツールについて触れる。

CIL は Prolog のバリエーションであり、フレーム形式のデータ・タイプ (PST; Partially Specified Term) とフリーズ形式の制御構造を持つ。例えば下のようなプログラムにおいて、2つの PST が単一化されると、変数 X が具体化されるので、項 $\text{print}(X?)$ のフリーズが解けて 25 をプリントする。

```
print(X?),
...
{name/ tanaka, age/ 25} = {age/ X},
...
```

文分割ツールは長い文が入力されたとき、その構文的な曖昧性を減らすために短い文の組合せに分割するツールであり、LAX の出力を受け取って動作する。

文生成ツール [Ikeda *et al.* 88] は PST 形式で書かれた下のような内部表現から日本語の文を生成する:

```
{relation/
  {word/ tayo-ru}
role/
  {goal/
   {comp/
    {modificand/
     {word/ megumi},
    ...
   modal/
    {mood/ [inevitable]}}.
```

CIL は ESP で書かれている。他の 2 つのツールはすでに CESP に移植されており、UNIX マシン上で動作する。

3.6 ソフトウェアの公開

以上に述べたソフトウェアは、ICOT からソース・プログラムの形式で公開、配布される予定である。CESP で書かれたプログラムはいくつかの UNIX ワークステーションで動作する。CESP 言語とその入手方法の詳細に関しては (株) AI 言語研究所 AIR に問い合わせ願いたい。

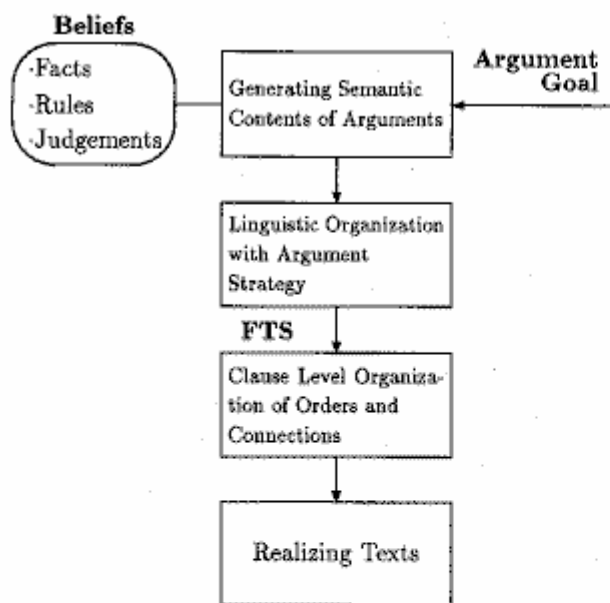


図 7: 立論テキスト生成システムの構成

4 談話処理システム

談話処理システムにおいては、談話に関わるさまざまな言語現象を調査して規則化を行い、それを用いて文章生成、談話構造抽出、対話システムの分野で実験システムを試作した。

文生成システムは知識ベースとしてシステム信念を持っており、主張すべきテーマが与えられたとき、その信念に基づいて一般に複数の段落からなる文章を生成する。文章構造の生成においては修辭的な戦略を用意し、それを實現するヒューリスティックスを用いている。

談話構造抽出システムは文のタイプ分類に関する規則や、文間関係を解析する規則を用いて、与えられたテキストの談話構造を木構造の形で抽出する。

4.1 立論テキスト生成システム

前節で述べたように、われわれはLTBの中で文生成ツールを開発してきた。このプログラムは内部表現から一つの文を生成するものであるが、この内部表現には構文的、形態的な多くの情報を正確に指定しておかなくてはならない [Ikeda et al. 88]。これをツールとして使う場合でも、ユーザは内部表現と文法規則を知らなければならず、使いやすきものではなかった。

一方、最近の文生成研究の主なテーマは、一文ごとの生成から、段落や完全な文章の生成へと変わってきている。生成される文章の質も高くなり、話し手の意図や立論を表現できるようにまでなってきた [Tokunaga and Inui 91]。このような機能を実現するためには、生成すべき文章の構造、意味内容、聞き手の意図のプランニングを行うことが重要である [Appelt 88] [Hovy 85] [Hovy 90a]。

このような背景のもとで、われわれは立論テキスト生成システムの試作を行っている。このシステムは、議論のテーマが与えられると、自分の信念に基づき、聞き手を説得することを目的として文章を生成する。このシステムの構成を図 7 に示す。

このシステムは知識ベースとして自分の信念を持っており、その中に世界の事象についての事実、規則、判断が含まれている。立論ゴールが与えられたとき、システムは事実をもとに、因果関係などの規則を用いて、自分の判断が可能な事象にまで立論のパスを延ばす。このようにして作られた立論の構造を次に談話構造へと変換し、最終的に一つの構造を選択した後に日本語文の文字列として出力する。

事実と規則をそのままにして、判断だけを別のものと変えてやると、システムは同じ対象に対して違った結論を引き出す。また、システム信念を他の対象分野の内容に置き換えると別のテーマに基づく立論を行う。

システムの詳細については本会議の ICOT セッションで発表する [Ikeda et al. 92]。また併せて、会場でデモを行う予定である。

4.2 談話構造抽出

談話構造抽出処理においては、まず文章中の各文に対して、それぞれの文末表現を解析して、主張文、叙述文、疑問文などの文タイプを決定する。ついで、これらの文タイプの情報と、隣接文間関係、あるいは離れた文の間の関係の情報に基づき、文章全体をいくつかの区切ってグループ化し、同時にグループの間の関係を解析する。グループ間の関係には、例示、展開、補足、逆接、背景、前提などがある [Ichikawa 78] [Kinoshita et al. 89]。

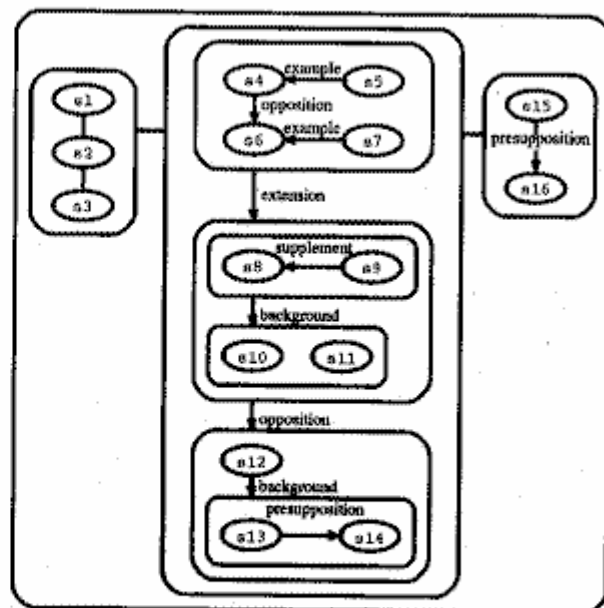


図 8: 談話構造の例

図 8 は 16 文からなる新聞社説の文章構造の解析例であ

る。このように、文章構造はグループ間の関係として木構造に近い形で求められる。

文のタイプ分類や文間関係、グループ間関係などの解析のための規則は形式言語で記述されており、「文脈文法」に相当するものとして公開する予定である。

5 並列自然言語処理

並列自然言語処理に関しては、型推論の枠組みの中で形態素解析、構文解析、意味解析を融合させ、一様に扱う協調処理の小規模な実験システムを開発した。

従来のほとんどの自然言語処理システムは、それぞれ独立に動くモジュールの集まりとして設計されていた。それぞれのモジュールの中の処理は隠蔽されており、モジュールはブラックボックスとして利用される。しかし並列協調処理においては、モジュール間で情報を交換する必要があり、従来のブラックボックス的な処理モデルでは不適当なので、別の方式を採用する必要がある。

これに対する一つの解答は形態素、構文、意味論などのすべての処理を融合するための処理のメカニズムを抽象化することである。橋田によって提案された制約変換方式 [Hashida 91] はこの枠組みのための候補の一つである。われわれは別の候補として、型推論 [Martin-Löf 84] に基づく方式を提案した。この型推論のメカニズムは型付きレコード構造 [Sells 85] を利用しており、 ψ -項 [Ait-Kaci and Nasr 86], Sorted Feature Structure [Smolka 88], QUIXOTE [Yasukawa and Yokota 90], Order Sorted Logic [Schmidt-Schauss 89] などとも近い。

形態素解析と構文解析とは、レイヤード・ストリーム法 [Matsumoto 86] で実行されるが、プロセスと通信の役割が PAX [Sato 90] で用いられている方式とは逆になっている。

このシステムはマルチ PSI 上で動き、名詞 10,000、動詞 1,000、概念 700 を含む日本語辞書、また LUG [Sano 91] [Sano and Fukumoto 92] に基づく日本語文法を用いている。マルチ PSI 上で 32 PE を使った場合、約 12 倍の台数効果を実現した。

図 9 は 25 単語からなる文の解析実験の結果で、プロセッサ数と処理時間 (ミリ秒) との関係を表している。図 10 はさまざまな評価例文の解析を行い、各解析におけるリダクション数と台数効果との関係を表したグラフである。台数効果は計算の規模 (リダクション数) に関係して決まるといえることがここでも明らかになっている。システムの詳細は本会議に提出された論文 [Yamasaki 92] に述べる。

謝辞

最後に、この研究をする機会を与えてくれた ICOT 研究所の淵一博所長、研究の基本的な方向づけと組織に関して有益なアドバイスを与えてくれた内田俊一研究部長に感謝する。

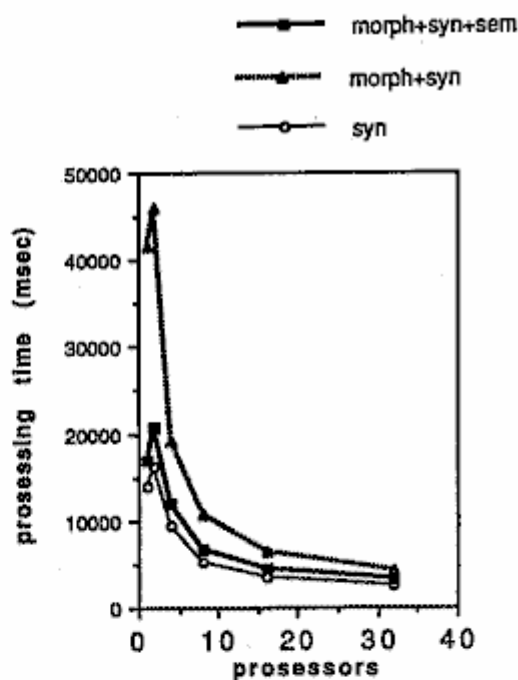


図 9: 実験システムの性能 (1)

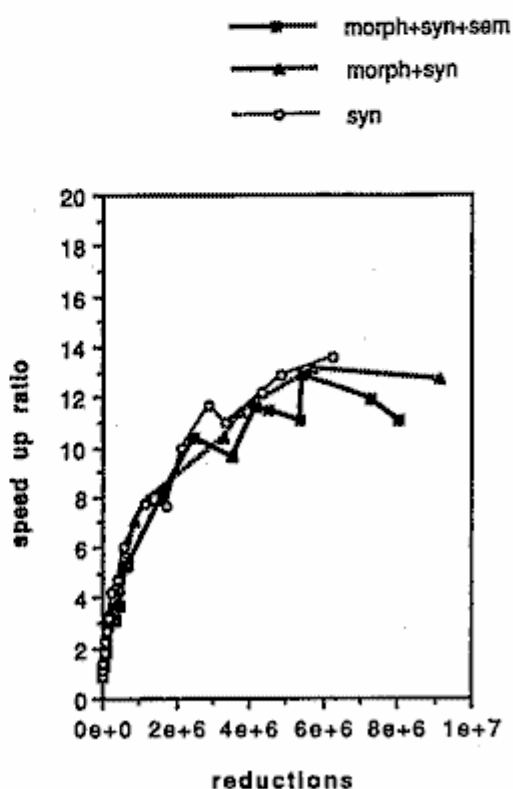


図 10: 実験システムの性能 (2)

参考文献

- [Abe et al. 91] H. Abe, T. Okunishi, H. Miyoshi, and Y. Obuchi. A Sentence Division Method using Connectives. In *Proc. of the 42nd Conference of Information Processing Society of Japan* (in Japanese). 1991. pp. 13-15.
- [Ait-Kaci and Nasr 86] H. Ait-Kaci and R. Nasr. LOGIN: A Logic Programming Language with Built-in Inheritance, *The Journal of Logic Programming*, Vol. 3, No. 3, Oct. 1986.
- [Aizawa and Ehara 73] T. Aizawa and T. Ehara. Kana-Kanji Conversion by Computer (in Japanese), *NHK Technical Research*, Vol. 25, No. 5, 1973.
- [Appelt 85a] D. E. Appelt. *Planning English Sentences*, Cambridge University Press, 1985.
- [Appelt 85b] D. E. Appelt. Bidirectional Grammar and the Design of Natural Language Generation Systems, In *Proc. TINLAP-85*, 1985.
- [Appelt 87] D. E. Appelt. A Computational Model of Referring, In *Proc. IJCAI-87*, 1987.
- [Appelt 88] D. E. Appelt. Planning Natural Language Referring Expressions. In David D. McDonald and Leonard Bolc (eds.), *Natural Language Generation Systems*. Springer-Verlag, 1988.
- [Barwise and Perry 83] J. Barwise and J. Perry. *Situation and Attitudes*, MIT Press, 1983.
- [Brooks 86] R. A. Brooks. A Robust Layered Control System for a Mobile Robot, *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. Ra-2, No. 1. March, 1986.
- [Calder 89] Jonathan Calder, Ewan Klein, Henk Zeevat. Unification Categorical Grammar. In *Proc. of the Fourth Conference of the European Chapter of the ACL*, Manchester, 1989.
- [Carlson 89] Lauri Carlson. RUG: Regular Unification Grammar. In *Proc. of the Fourth Conference of the European Chapter of the ACL*, Manchester, 1989.
- [Danlos 84] L. Danlos. Conceptual and Linguistic Decisions in Generation. In *Proc. of the International Conference on Computational Linguistics*, 1984.
- [De Smedt 90] K. J. M. J. De Smedt. Incremental Sentence Generation. *NICI Technical Report*, 90-01, 1990.
- [Fujisaki 89] H. Fujisaki. Analysis of Intonation and its Modelling in Japanese Language. *Japanese Language and Education of Japanese* (in Japanese). Meiji Shoin Publishing Co., 1989, pp. 266-297.
- [Fukumoto and Sano 90] F. Fukumoto, H. Sano. Restricted Dependency Grammar and its Representation. In *Proc. The 41st Conference of Information Processing Society of Japan* (in Japanese), 1990.
- [Fukumoto 90] J. Fukumoto. Context Structure Extraction of Japanese Text based on Writer's Assertion. In *Research Report of SIG-NL*, Information Processing Society of Japan (in Japanese). 78-15, 1990.
- [Fukumoto and Yasuhara 91] J. Fukumoto and H. Yasuhara. Structural Analysis of Japanese Text. In *Research Report of SIG-NL*, Information Processing Society of Japan (in Japanese). 85-11, 1991.
- [Grosz and Sidner 85] B. Grosz and C. L. Sidner. The structures of Discourse Structure, Technical Report CSLI, CSLI-85-39, 1985.
- [Hashida 91] K. Hasida. Aspects of Integration in Natural Language Processing, *Computer Software*, Japan Society for Software Science and Technology, Vol. 8, No. 6, Nov. 1991.
- [Hovy 85] E. H. Hovy. Integrating Text Planning and Production in Generation. In *the Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 1985.
- [Hovy 87] E. H. Hovy. Interpretation in Generation. In *the Proceedings of 6th AAAI Conference*. 1987.
- [Hovy 88] E. H. Hovy. *Generating Natural Language under Pragmatic Constraints*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1988.
- [Hovy 90a] E. H. Hovy. Unresolved Issues in Paragraph Planning. In *Current Research in Natural Language Generation*. Academic Press, 1990.
- [Hovy 90b] E. H. Hovy. Pragmatics and Natural Language Generation. *Artificial Intelligence* 43, 1990. pp. 153-197.
- [Ichikawa 78] T. Ichikawa. *An Introduction to Japanese Syntax for Teachers*. Kyoiku Shuppan Publishing Co., 1978.
- [Ikeda et al. 88] T. Ikeda, K. Hatano, H. Fukushima and S. Shigenaga. Generation Method in the Sentence Generator of Language Tool Box (LTB). In *Proc. of the 5th Conference of Japan Society for Software Science and Technology*. (in Japanese), 1988.

- [Ikeda 91] T. Ikeda. Natural Language Generation System based on the Hierarchy of Semantic Representation (in Japanese). *Computer Software*, Japan Society for Software Science and Technology, Vol. 8, No. 6, Nov. 1991.
- [Ikeda et al. 92] T. Ikeda, A. Kotani, K. Hagiwara, Y. Kubo. Argument Text Generation System (Dulcinea). In *Proc. of FGCS '92, ICOT*, Jun. 1992.
- [Katoh and Fukuchi 89] Y. Katoh and T. Fukuchi. *Tense, Aspect and Mood* (in Japanese). Japanese Example Sentences and Problems for Foreigners 15. Aratake Publishing Co., Tokyo. 1989.
- [Kempen and Hoenkamp 87] G. Kempen and E. Hoenkamp. *An Incremental Procedural Grammar for Sentence Formulation*, Cognitive Science, Vol. 11. 1987.
- [Kinoshita 81] S. Kinoshita. Writing Techniques in Scientific Field (in Japanese). Chuo-Kouron Publishing Co., 1981. pp. 82-88.
- [Kinoshita et al. 89] S. Kinoshita, K. Ono, T. Ukita and M. Amano. Discourse Structure Extraction in Japanese Text Understanding. In *Symposium on Discourse Understanding Model and its Application* (in Japanese), Information Processing Society of Japan, 1989. pp. 125-136.
- [Kodama 87] T. Kodama. Research on Dependency Grammar (in Japanese). Kenkyu-sha, 1987. pp. 161-194.
- [Kubo et al. 88] Y. Kubo, M. Yoshizumi, H. Sano, K. Akasaka and R. Sugimura. Development Environment of the Morphological Analyzer LAX. In *Proc. of the 37th Conference of Information Processing Society of Japan* (in Japanese). 1988. pp. 1078-1079.
- [Kubo 89] Y. Kubo. Composition of Word Semantics in Morphological Analyzer LAX. In *Proc. of the 39th Conference of Information Processing Society of Japan* (in Japanese). 1989. pp. 598-599.
- [Kuno and Shibatani 89] S. Kuno, K. Shibatani. *New Development in Japanese Linguistics* (in Japanese). Kuroshio Publishing Co., Tokyo, 1989.
- [Littman and Allen 87] D. J. Littman and J. F. Allen. A Plan Recognition Model for Subdialogues in Conversation, *Cognitive Science* 11, 1987. pp. 163-200.
- [Mann and Thompson 86] W. C. Mann and S. A. Thompson. Rhetorical Structure Theory: Description and Construction of Text Structure, In *Proc. of the Third International Workshop on Text Generation*, 1986. In Dordrecht (ed.), *Natural Language Generation: New Results in Artificial Intelligence, Psychology, and Linguistics*. Martinus Nijhoff Publishers, 1987.
- [Martin-Löf 84] P. Martin-Löf. Intuitionistic Type Theory — Studies in Proof Theory, *Lecture Notes*, 1984.
- [Masuoka 89] T. Masuoka, Y. Takubo. Basic Japanese Grammar (in Japanese). Kuroshio Publishing Co., Tokyo. 1989.
- [Matsumoto et al. 83a] Y. Matsumoto, M. Seino, H. Tanaka. BUP Translator (in Japanese). Bulletin of the Electrotechnical Laboratory, Vol. 47, No. 8, 1983.
- [Matsumoto et al. 83b] Yuji Matsumoto, H. Tanaka, H. Hirakawa, H. Miyoshi and H. Yasukawa, BUP: A Bottom-up Parser Embedded in Prolog, *New Generation Computing*, Vol. 1, 1983.
- [Matsumoto 86] Y. Matsumoto. A Parallel Parsing System for Natural Language Analysis, *Proc. of 3rd International Conference on Logic Programming*, London, 1986. *Lecture Notes in Computer Science* 225, pp. 396-409, 1986.
- [Matsumoto and Sugimura 87] Y. Matsumoto and R. Sugimura. A Parsing System based on Logic Programming. In *Proceedings of the International Joint Conference of Artificial Intelligence*, 1987.
- [Matsumoto 90] Y. Matsumoto and A. Okumura. Programming Searching Problems in Parallel Logic Programming Languages — An Extension of Layered Streams —. In *Proc. of the KLI Programming Workshop '90* (in Japanese). 1990.
- [Maruyama and Suzuki 91] T. Maruyama and H. Suzuki. Cooperative Sentence Generation in Japanese Dialog based on Simple Principles (in Japanese). In *Proc. of the 8th Conference of Nihon Ninchi Kagaku Kai* (in Japanese). 1991.
- [McKeown 85a] K. R. McKeown. *Text Generation: Using Discourse Strategies and Focus Constraints to Generate Natural Language Text*. Cambridge University Press, 1985.
- [McKeown 85b] K. R. McKeown. Discourse Strategies for Generating Natural-Language Text, *Artificial Intelligence* 27, 1985. pp. 1-41.
- [Meteer 90] M. W. Meteer. The 'Generation Gap' — the Problem of Expressibility in Text Planning. *Technical Report*, BBN Systems and Technologies Corporation, 1990.

- [Minami 74] F. Minami. The Structure of Contemporary Japanese Language (in Japanese), Taishu-kan Publishing Co., 1974.
- [Moens 89] Marc Moens, Jonathan Calder, Ewan Klein, Mike Reape, Henk Zeevat. Expressing Generalizations in Unification-based Grammar Formalisms, In *Proc. of the Fourth Conference of the European Chapter of the ACL*, Manchester, 1989.
- [Morioka 87] K. Morioka. *Vocabulary Construction* (in Japanese). Meiji Shoin Publishing Co., 1987.
- [Morita 89] Y. Morita. *Dictionary of Basic Japanese* (in Japanese). Kadokawa Publishing Co., 1989.
- [Morita and Matsuki 89] Y. Morita and Y. Matsuki. *Sentence Types of Japanese* (in Japanese). ALK Publishing Co., Tokyo, 1989.
- [Nagano 86] K. Nagano. *Japanese Syntax — a Grammatical Study* (in Japanese). Asakura Publishing Co., 1986.
- [Nakajima and Sugimura 89] A. Nakajima and R. Sugimura. Japanese Morphological Analysis with TRIE Dictionary and Graph Stack. In *Proc. of the 39th Conference of Information Processing Society of Japan* (in Japanese). 1989, pp. 589-590.
- [Nitta and Masuoka 89] Y. Nitta and T. Masuoka (eds.), *Modality in Japanese* (in Japanese). Kuroshio Publishing Co., Tokyo, 1989.
- [NLRI 81] National Language Research Institute. *Demonstratives in Japanese* (in Japanese). Ministry of Finance, 1981.
- [NLRI 82] National Language Research Institute. *Particles and Auxiliary Verbs of Japanese* (in Japanese). Shuei Publishing Co., Tokyo, 1982.
- [NLRI 85] National Language Research Institute. *Aspect and Tense of Contemporary Japanese* (in Japanese). Shuei Publishing Co., Tokyo, 1985.
- [NLRI 89] National Language Research Institute. *Research and Education of Discourse* (in Japanese). Ministry of Finance, 1989.
- [Nobukuni 89] Y. Nobukuni. Division Algorithm of Long Sentence, In *Proc. of the 39th Conference of Information Processing Society of Japan* (in Japanese). 1989, p. 593.
- [Okumura and Matsumoto 87a] A. Okumura and Y. Matsumoto. Parallel Programming with Layered Streams. In *Proc. of the 1987 International Symposium on Logic Programming*. San Francisco, September 1987. pp. 224-232.
- [Okumura and Matsumoto 87b] A. Okumura and Y. Matsumoto. Parallel Programming with Layered Streams. In *Proc. of the Logic Programming Conference '87* (in Japanese), 1987. pp. 223-232.
- [Pereira 80] Fernando C. N. Pereira, David H. D. Warren. Definite Clause Grammars for Language Analysis — A Survey of the Formalism and a Comparison with Augmented Transition Networks, *Artificial Intelligence*. Vol. 13, No. 3. 1980. pp. 231-278.
- [Saitoh et al. 91] Y. Saitoh, M. Shibata and J. Fukumoto. Analysis of Relationship of Adjoining Sentences for Context Structure Extraction. In *Proc. of the 43rd Conference of Information Processing Society of Japan* (in Japanese). 1991.
- [Sakuma 88] M. Sakuma. Context and Paragraph. *Japanese Linguistics* (in Japanese). Vol. 7, No. 2. 1988. pp. 27-40.
- [Sano et al. 88] H. Sano, K. Akasaka, Y. Kubo and R. Sugimura. Morphological Analysis based on Word Formation. In *Proc. of the 36th Conference of Information Processing Society of Japan* (in Japanese), 1988.
- [Sano 89] H. Sano. Hierarchical Analysis of Predicate using Contextual Information. In *Symposium on Discourse Understanding Model and its Application* (in Japanese), Information Processing Society of Japan, 1989.
- [Sano et al. 90] H. Sano, F. Fukumoto, Y. Tanaka. Explanatory Description based Grammar — SFTB (in Japanese), ICOT-Technical Memo, TM-0885, 1990.
- [Sano and Fukumoto 90] H. Sano, F. Fukumoto. Localized Unification Grammar and its Representation. In *Proc. of the 41st Conference of Information Processing Society of Japan* (in Japanese), 1990.
- [Sano 91] H. Sano. User's Guide to SFTB (in Japanese), ICOT, Sep. 1991.
- [Sano and Fukumoto 92] H. Sano, F. Fukumoto. On a Grammar Formalism, Knowledge Bases and Tools for Natural Language Processing in Logic Programming. In *Proc. of FGCS '92*, ICOT, Jun. 1992.

- [Satoh 90] H. Satoh. Improvement of Parallel Syntax Analyzer PAX. In *Proc. of KLI Programming Workshop '90* (in Japanese), ICOT, Tokyo, 1990.
- [Schmidt-Schauss 89] M. Schmidt-Schauß. Computational Aspects of an Order-Sorted Logic with Term Declarations, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Springer-Verlag, 1989.
- [Searl 69] J. R. Searl. *An Essay in the Philosophy of Language*, Cambridge University Press, 1969.
- [Sells 85] P. Sells. Lectures on Contemporary Syntactic Theories, *CSLI Lecture Notes*, No. 3, 1985.
- [Shibata et al. 90] M. Shibata, Y. Tanaka and J. Fukumoto. Anaphora Phenomena in Newspaper Editorials. In *Proc. of the 40th Conference of Information Processing Society of Japan* (in Japanese), 1990.
- [Shinnou and Suzuki 91] H. Shinnou and H. Suzuki. Utilization of Sound Information in Incremental Analysis. In *Research Report of SIG-NL*, Information Processing Society of Japan (in Japanese). 85-7, 1991.
- [Shiraishi et al. 90] T. Shiraishi, Y. Kubo and M. Yoshizumi. Format of Morpheme Dictionary and Dictionary Improvement. In *Proc. of the 41st Conference of Information Processing Society of Japan* (in Japanese), 1990. pp. 193-194.
- [Smolka 88] G. Smolka. A Feature Logic with Subsorts, IBM Deutschland, Stuttgart, Germany, *LJLOG Report*, No. 33, May 1988.
- [Sugimura et al. 88] R. Sugimura, K. Akasaka, Y. Kubo, Y. Matsumoto and H. Sano. LAX — Morphological Analyzer in Logic Programming. In *Proc. of the Logic Programming Conference '88* (in Japanese), 1988. pp. 213-222.
- [Sugimura and Fukumoto 89] R. Sugimura, F. Fukumoto. Dependency Analysis by Logic Grammar. In *Symposium on Discourse Understanding Model and its Application* (in Japanese), Information Processing Society of Japan, 1989.
- [Suzuki and Tsuchiya 90] H. Suzuki and S. Tsuchiya. Incremental Interpretation of Japanese Utterance. In *Proc. of the 7th Conference of Nihon Ninchi Kagaku Kai* (in Japanese). 1990. pp. 46-47.
- [Tanaka et al. 91] Y. Tanaka, M. Shibata and J. Fukumoto. Repetitive Occurrence Analysis of a Word in Context Structure Analysis System. In *Proc. of the 43rd Conference of Information Processing Society of Japan* (in Japanese), 1991.
- [Teramura et al. 87] H. Teramura, Y. Suzuki, N. Noda and M. Yazawa. *Case Study in Japanese Grammar* (in Japanese). Outousha Publishing Co., Tokyo. 1987.
- [Tokunaga and Inui 91] T. Tokunaga and K. Inui. Survey of Natural Language Sentence Generation in 1980's. In *Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence* (in Japanese). Vol. 6, Nos. 3-5, 1991.
- [Tomita 87] M. Tomita. An Efficient Augmented Context Free Parsing Algorithm, *Computational Linguistics* 13, 1-2, 31-46, 1987.
- [Tsuji 89] J. Tsujii. Context Processing. In *Symposium on Natural Language Processing* (in Japanese), Information Processing Society of Japan. 1988. pp. 75-87.
- [Ueda and Chikayama 90] K. Ueda and T. Chikayama. Design of the Kernel Language for the Parallel Inference Machine. *The Computer Journal*. Vol. 33, No. 6, Dec. 1990. pp. 494-500.
- [Yamanashi 86] M. Yamanashi. *Speech Act* (in Japanese). Taishukan Publishing Co., 1986.
- [Yamanashi 89] M. Yamanashi. Discourse, Context and Inference. In *Symposium on Discourse Understanding Model and its Application* (in Japanese), Information Processing Society of Japan, 1989. pp. 1-12.
- [Yamasaki 92] S. Yamasaki. A Parallel Cooperative Natural Language Processing System — Laputa. In *Proc. of FGCS '92*, ICOT, Jun. 1992.
- [Yasukawa and Yokota 90] H. Yasukawa and K. Yokota. The Overview of a Knowledge Representation Language *QUINOTE*, ICOT (draft), Oct. 21, 1990.
- [Yoneda et al. 89] J. Yoneda, Y. Kubo, T. Shiraishi and M. Yoshizumi. Interpreter and Debugging Environment of LAX. In *Proc. of the 39th Conference of Information Processing Society of Japan* (in Japanese), 1989. pp. 596-597.
- [Yoshida and Hidaka 87] M. Yoshida and S. Hidaka. *Studies on Documentation in Standard Japanese* (in Japanese). 1987.
- [Yoshimura et al. 82] K. Yoshimura, T. Hidaka and M. Yoshida. On Longest Matching Method and Word Minimizing Method in Japanese Morphological Analysis. In *Research Report of SIG-NL*, Information Processing Society of Japan (in Japanese). 30-7, 1982.