

英日話し言葉翻訳のための漸進的文生成手法

松原 茂樹[†] 渡邊 善之[‡] 外山 勝彦^{‡§} 稲垣 康善[‡]

[†] 名古屋大学言語文化部 [‡] 名古屋大学大学院工学研究科
[§] 名古屋大学統合音響情報研究拠点 (CIAIR)

〒 464-8601 名古屋市千種区不老町

{matu,ynabe,toyama,inagaki}@inagaki.nuie.nagoya-u.ac.jp

あらまし 本稿では、漸進的な英日話し言葉翻訳システムのための日本語文生成手法を提案する。英語と日本語では互いに語順がことなるため、英語単語が入力されるたびにそれを日本語に変換し出力したのでは、正しく意味が通じる日本語文を生成することは難しい。しかし、日本語話し言葉に頻出する不適格表現を活用することにより、英語入力に対して同時進行的に日本語を生成できる可能性がある。そこで本稿では、語の生起順序ができる限り入力された英語文に準拠した日本語翻訳結果を生成する方法について述べる。システムは、漸進的な解析、変換、生成から構成され、それらが入力に対して同時進行的に振舞う。解析では、語が入力されるたびにそれまでの入力に対する解析木を作成し、変換により、作成すべき日本語翻訳文における構成要素間の依存関係を求める。生成部では、各構成要素が互いに日本語係り受けに関する制約を満たすように、語順を適正化する。

キーワード 機械翻訳, 話し言葉, 同時通訳, 文生成, 文法的不適格性

Incremental Sentence Production for English-Japanese Spoken Language Translation

Shigeki Matsubara[†], Yoshiyuki Watanabe[‡], Katsuhiko Toyama^{‡§}
and Yasuyoshi Inagaki[‡]

[†] Faculty of Language and Culture, Nagoya University

[‡] Department of Computational Science and Engineering, Nagoya University

[§] Center for Integrated Acoustic Information Research(CIAIR), Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8601, Japan

{matu,ynabe,toyama,inagaki}@inagaki.nuie.nagoya-u.ac.jp

Abstract This paper proposes describes a method of incremental sentence production for English-Japanese spoken language translation system, which behaves like simultaneous interpretation. Since spontaneous speech appears continuously, each stage of a spoken language translation system should work incrementally. However, machine translation systems which have been proposed so far can not achieve high degree of incrementality because of the difference in word-order between the source language and the target one. In this paper, the system utilizing the inversions of characterizing Japanese spoken language according to Japanese dependency grammar, we have succeeded in the incremental transfer from English to Japanese. An experimental system on the basis of incremental chart parsing framework has been implemented.

key words machine translation, spoken language, simultaneous interpretation, sentence production, ill-formedness

1 まえがき

人と人とで行われる会話において、適切なタイミングで発話することは極めて重要である。不要な間をおくことなく、相手の発話に対して即座に回答することができれば、自然で円滑なインタラクションが実現できる。このことは機械翻訳システムを介した異言語間対話においてもまた同様にあてはまり、そのような対話を可能とするためにシステムは同時通訳機能を備えることが望ましい。原言語話者の発声の進行に対して同時進行的に、対応する目的言語を出力することにより、ユーザは、会話相手の発話終了後、早い段階で回答を開始することができる。

同時的な出力を実現するために、漸進的な翻訳処理技術の開発が不可欠であるが [3]、上述した背景のもと、漸進的な音声翻訳システムの実現を目的とした研究がこれまでにいくつかなされている [1, 2, 5, 6, 11]。これらはいずれも、できる限り早い段階で翻訳結果を生成する手法を提案しているが、原言語と目標言語との間の語順の違いにより結果的に出力の入力に対する同期性が損なわれたり、節が翻訳単位となることにより翻訳処理の漸進性が低下する、などの問題がある。しかし、一方で、入力文における語の出現順序に従って、対応する目的言語表現をただ単に生成しただけでは、正しく意味が通じる翻訳結果を作成することは難しい。

これに対して著者らは、英語話者の発話をできる限り小さな言語単位 (例えば、単語) で変換し、意味が通じる程度の品質を備えた日本語文を英語音声に追従して生成する話し言葉翻訳システムについて研究を進めている [7, 9]。英語と日本語とでは語の生起順序が異なるため、入力に対して即座に対応する目的言語を出力することは一般には困難であるものの、文法的不適格表現を含む日本語翻訳結果の生成を容認することにより、漸進的な話し言葉翻訳処理の実現が期待できる [10]。特に、構成要素の生起順序が比較的自由であるという日本語の構造的な特徴は、たとえ英語文の生起順序に従って日本語文を作り上げたとしても、それを翻訳結果として容認できる場合があることを示唆している。

本稿では、漸進的な英日話し言葉翻訳のための日本語文生成手法を提案する。英語文の語の生起順序に従って対応する日本語を順に生成することを基本とするが、日本語文として容認できない箇所については、語順を入れ替えるなどの方法で調整する。生成する日本語話し言葉の容認可能性を判定するために、日本語係り受け文法を用いる。すなわち、係り受けの方向性、交差性、及び多重性の制約に反する翻訳結果については、生起順序の入れ替え操作を行い、制約を充足するように適正化する。

また本稿では、この日本語文生成手法に基づき実現した漸進的な英日話し言葉翻訳システムについて述べ

る。システムは、漸進的な解析、変換、生成の3つのフェーズから構成され、それらが入力に対して同時進行的に振舞う。解析フェーズは、漸進的チャート解析 [9] をベースとしており、語が入力されるたびに、それまでの原言語入力に対する可能な構文構造をすべて作成する。変換フェーズでは、作成された構文構造の中から一つの構造を選択し、その構成要素間の依存関係をもとに、日本語係り受け構造を作成する。生成部では、生成すべき助詞を決定し、その上で各構成素が日本語係り受けに関する制約を満たすように語順を適正化する。日本語係り受け制約を活用することにより、語の生起順序ができる限り英語入力文に準拠し、かつ、正しく意味が通じる日本語翻訳結果を作成することができる。

本稿の構成は以下の通りである。続く2章では、語の生起順序ができる限り英語入力文に準拠した日本語対訳文の作成可能性について論じる。次の3章では、日本語係り受け制約を用いた日本語対訳文の生成方法について述べ、4章では、それに基づいて作成した漸進的な話し言葉翻訳システムについて説明する。5章では、文法的不適格表現を活用した日本語対訳文の生成について検討する。

2 語順の自由度を活用した日本語生成

本節ではまず、英語から日本語への漸進的な翻訳処理における両言語間の語順の違いに関する問題について述べる。また、比較的語順が自由であるという日本語の特徴を活用することによる同時的な翻訳の実現可能性について例を通して論じる。

2.1 語の生起順序と漸進的な翻訳処理

話し言葉を漸進的に翻訳するとは、それが入力される順序に従ってできる限り語単位で翻訳結果を作り上げ、それを即座に出力することをいう。しかし、英語と日本語の場合、語の生起順序が互いに大きく異なるため、英語を日本語に漸進的に翻訳することは一般には困難である。そのことを具体的に説明するために、次の英語文 (2.1) に対して、その日本語対訳文をできる限り早い段階で生成することを試みる。

(2.1) He met her in the park yesterday.

この文に対する典型的な日本語対訳文は

(2.2) 彼は、昨日、園で彼女に会った。

である。これらの文の間の各構成要素の対応関係を考慮した上で、(2.2) をできる限り早い段階で生成すると、その出力のタイミングは図1のようになる。図1における上から下への順序は、入力ならびに出力の時間的な順序を示している。「昨日」が(2.2)において比較的早い段階で生成される必要があるのに対し

(2.1) の入力	(2.2) の出力
He	彼
met	は
her	
in	
the	
park	
yesterday	昨日, 公園で彼女に会った

図 1: 日本語翻訳文 (2.2) の出力のタイミング

(2.1) の入力	(2.5) の出力
Ken	健
met	は
her	彼女に
in	
the	
park	公園で
yesterday	昨日, 会えた.

図 2: 日本語翻訳文 (2.5) の出力のタイミング

て、それに対応する英語表現 “yesterday” は (2.1) の最後に現れる。このため、(2.1) の入力が終了するまで「昨日」以降の発話を生成することができない。その結果、

- 英語話者の発話の開始からその翻訳結果の出力終了までの時間が長くなり、対話の効率が低下する。
- 「彼は」が発話されてから「昨日」が発話されるまでのユーザの待ち時間が大きいため、対話の結束性が損なわれる可能性がある。

などの問題が生じる。

これらは、上記の例に特有な問題ではなく、英語文と日本語文との間の多くの場合において発生する問題である。ここで重要なことは、(2.2) を (2.1) に対する翻訳文と定める限り、これらの問題を解消することは原理的に不可能であるということである。したがって、英語文の入力に対して、(2.2) と同じ意味内容をもち、かつ、同時進行的に作り上げることが可能な日本語翻訳文が存在するならば、それを翻訳結果として採用することにより漸進的な翻訳処理を実現することが考えられる。

2.2 語順の入れ換え

日本語の語順は、英語の語順と大きく異なる。しかし、日本語における構成要素の生起順序は比較的自由である。これは、日本語翻訳文をもとの英語文の入力順に従って作り上げたとしても、それがその翻訳結果として受理できる可能性があることを示唆する。例えば、

(2.3) How much is this tour?

に対する標準的な日本語翻訳文は「このツアーはいくらですか」であるが、ほとんどの日本人は

(2.4) いくらですか。このツアーは。

の意味内容を容易に理解することができる。本研究では、このような倒置文や標準的な語順から逸脱したや

や違和感のあるような文も翻訳結果として認める。これにより、英語文の入力と同期した日本語翻訳文の出力を行える。

英語入力文の語の生起順序に従って日本語を生成すると、例えば英語文 (2.1) については次の日本語翻訳文

(2.5) 彼は、彼女に公園で昨日会えた。

を漸進的に生成することができる。(2.5) は、「昨日」、「公園で」、「彼女に」の語順が入れ替わっている、という点で標準的な翻訳文である (2.2) とは異なっているが、(2.1) の意味内容を正しく表現している。(2.5) の出力のタイミングを図 2 に示す。この図から、

- 英語話者の発話の開始からその翻訳結果の出力の終了までの時間が短くなり、翻訳を介した対話を効率的に進めることができる。
- ユーザの待ち時間が短縮されるため、対話の結束を保つことができる。

ことがわかる。

3 係り受け文法を活用した日本語文生成

英語から日本語への話し言葉翻訳において、英語入力文に準拠した語の生起順序に従って作成した日本語文をその翻訳結果として出力しても意味が正しく通じる可能性がある。ただし、当然ながら、日本語の語順は完全に自由であるというわけではないので、生成する文に関してなんらかの制限が必要となる。そこで本稿では、係り受け制約を活用することにより、語順が比較的自由であるという日本語の特徴を活かした文生成手法を提案する。

英語と日本語では、語の生起順序が異なるものの双方いずれにおいても構成要素の間に依存関係を見出すことができる。英語の場合には、主辞という概念に基づき、句に関してその構成要素間に主辞 (head) と補語 (complement) という関係があり、それらは補語が

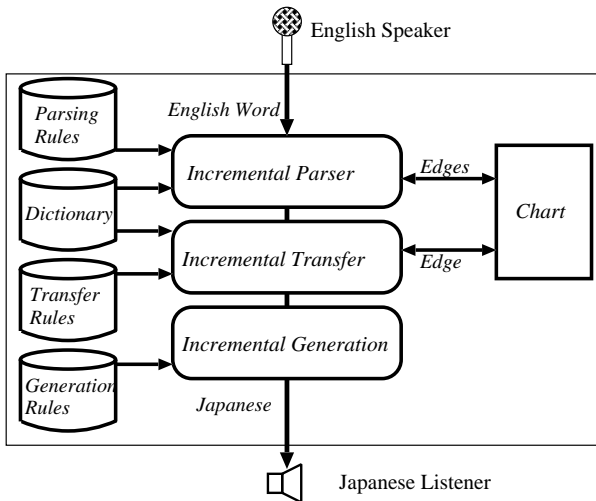


図 3: システム構成

主辞に依存するという依存関係として定めることができる。一方、日本語には、いわゆる係り受けとよばれる依存関係があり、これによって文節の間の関係を定めることができる。このような依存関係は、多くの場合、両言語間で一致し、それが語や句の生起順序と大きく関連しているため、依存関係に基づく語順制約に従って、作成する日本語文の生起順序を決定できると考えられる。

上記のことから、以下に示すような手順により、できる限り英語入力文の生起順序に準拠し、かつ、正しく意味が通じる日本語文を生成することを試みる。まず、英語文を文脈自由文法をベースに語が入力されるたびに順次、解析を進める。解析途中の段階で随時、解析木を作成するため、それをもとに、すでに入力されている構成要素間の依存関係を求める。作成された英語の依存構造に対しては、その各構成要素を日本語に変換することにより、日本語依存関係を作り上げる。ここで、日本語係り受け文法上の制約である非交差性、係り先の唯一性、後方修飾性を考慮することにより、日本語係り受け構造を作成し、それを文字列化することにより順次、日本語文を生成する。

次節では、このアイデアに基づき実現した話し言葉翻訳手法について述べる。

4 漸進的な英日話し言葉翻訳手法

漸進的な英日話し言葉翻訳システムの構成を図 3 に示す。構文トランスファー方式を採用しており、漸進的な解析、解析、生成の 3 つのフェーズから構成される。英語文の入力に対してこれらのフェーズが同期的に処理を実行するため、結果として入力に追従して日本語翻訳結果を出力できる。

4.1 解析

解析処理では、漸進的チャート法 [9] に従って英語単語が入力されるたびに処理を実行する。この解析手法は基本的には、到達可能性を用いた上昇型チャート解析法 [4] をベースとしているが、以下の 2 つの特徴を備えている点が通常と異なっている。

特徴 1 ラベル 0 が付加された節点 (以下、節点 0 という) と、それを始点及び終点とし、項 $[?]_s$ がラベルとして付加された活性弧 (以下、項 $[?]_s$ の活性弧という) とからなる有向グラフを初期状態とする。

特徴 2 活性弧に対して文法規則を適用し新たな活性弧を作成する操作、活性弧に付加した項の最左未決定項を別の活性弧の項で置き換える操作、を導入する。

このような特徴により、漸進的なチャート法は上昇的な側面と下降的な側面を併せもった解析アルゴリズムとなっている。また、入力に対して一語遅れで解析を進めるため、直前に入力された語を先読み語として活用することができ、到達可能性条件に従って作成する解析木の数を抑制することができる。

本研究では、生成処理において文節間の係り受け関係をベースに日本語生成を行うため、英語文の解析途中の段階で入力された構成要素間の依存関係を明らかにする必要がある。これは文脈自由文法のあらゆる規則に対して、その右辺の各要素に、支配関係に関する指標として主辞あるいは補語をあらかじめ付与することにより実現できる。たとえば、動詞句を構成するための規則 “ $vp \rightarrow v np pp$ ” では、範疇 v は主辞要素であり、 np 、 pp はそれぞれ補語要素である。一つの文法規則の中に主辞要素はただ一つ存在し、各々の補語要素がその主辞要素に依存するとみなす。また、依存関係を定める文法機能を明示するために、“*subj*” や “*obj*” などの必須格情報、前置詞を考慮した任意格情報や名詞間の関係に関する情報などを記す。

上述した文法規則をもとに、漸進的チャート解析を実行すると入力途中の段階でそれまでに入力された各構成要素間の依存関係を定めることができる。依存関係は、3 つ組 $\langle f_i \alpha_i \beta_i \rangle$ で表され、 α_i が β_i に依存し、文法機能は f_i であることを意味する。語の生起順序に関する情報を保持するため、構成要素には出現の順番を付与する。また、依存構造を依存関係のリストで表現する。

$$[\langle f_1 \alpha_1 \beta_1 \rangle, \langle f_2 \alpha_2 \beta_2 \rangle, \dots, \langle f_n \alpha_n \beta_n \rangle]$$

例として、(2.1) の “in” が入力された段階で作成される解析木を図 4 に示す。図の中の下線が引かれた部分は主辞要素であることを示す。 α が β に依存するならば、 α の主辞が β の主辞に依存するという関係を用いれば、以下のような依存構造を作成できる。

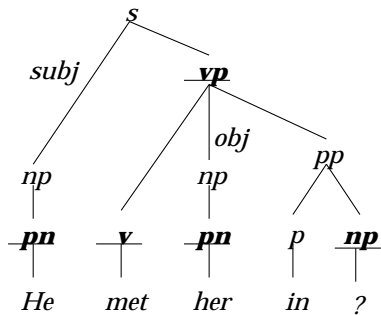


図 4: “Ken met her in” に対する解析木

[$\langle subj(he, 1)(met, 2) \rangle$,
 $\langle subj(her, 3)(met, 2) \rangle$,
 $\langle rel(in, 4)(?, 5) \rangle$
 $\langle in(?, 5)(met, 2) \rangle$]

例えば、 $\langle subj(he, 1)(met, 2) \rangle$ は、1 番目に出現した “he” が 2 番目に出現した “met” に依存し、その文法機能は “subj” であることを意味する。

このように解析フェーズでは、語が入力されるたびにそれまでの入力に対する句構造解析木を作成し、主辞という考えに基づき依存構造作成するという処理を行う。

4.2 変換

変換では、解析処理で作成した依存構造に対して語彙変換を行うことにより、日本語依存構造を作成する。依存構造は両言語において同様になりつつことを前提とし、構造変換は行わない。また、日本語の依存関係は基本的に文節間でなりつつなので、自立語間の関係のみを記述する。

前節の “Ken met her in” に対する依存構造に対して語彙変換を実施することにより、日本語依存構造

[$\langle subj(彼, 1)(会った, 2) \rangle$,
 $\langle subj(彼女, 3)(会った, 2) \rangle$,
 $\langle in(?, 5)(会った, 2) \rangle$]

を作成する。

4.3 生成

生成ではまず、助詞決定処理を行い、その上で語の生成順序を定める。助詞決定処理は、各依存関係に助詞決定規則を適用することにより行う。助詞決定規則は各動詞ごとに用意される。例えば、依存関係 $\langle subj(彼, 1)(会った, 2) \rangle$ には、助詞決定規則

$\langle subj(noun)(会う) \rangle \Rightarrow$ は

を適用でき、その結果、依存関係を \langle は(彼, 1)(会った, 2) \rangle に更新する。助詞決定規則を適用した結果、“Ken met her in” に対する依存構造は、

[\langle は(彼, 1)(会った, 2) \rangle ,
 \langle に(彼女, 3)(会った, 2) \rangle ,
 $\langle in(?, 5)(会った, 2) \rangle$]

となる。

助詞が決定した段階で依存構造を文字列化するために、構成要素の生起順序を定める。その際、日本語係り受け制約、特に、非交差性と後方修飾性を必ず充足し、かつ、英語の生起順序とできる限り同一になるようにする。上記の場合、

(彼は,1)(彼女に,3)(?,5)(会った,2)

となる。実際の生成はすでに構成要素が決定した部分までを出力する。この場合、「彼は彼女に」が生成される。

4.4 翻訳処理例

前節までで英語単語の入力に対する各フェーズでの処理について説明した。これに従って (2.1) を漸進的に翻訳処理したときの流れを表 1 に示す。英語文の入力に従って解析、変換、生成を同時進行的に実行することに入力に追従した日本語文生成が可能となる。

5 文法的に不適格な日本語文の生成について

本稿では、日本語話し言葉の特徴のうち、語順の入れ換えに着目し、それを活用した日本語文生成について論じた。しかし、そのほかにも、繰り返しや言い直しなどの活用が有効であることがこれまでに確認されている [10]。本章では、漸進的な英日話し言葉翻訳のための文法的に不適格な日本語文生成に関する課題について考察する。

5.1 動詞の繰り返しによる即時生成

前節で示した例のように、英語では一般に動詞が早い段階で現れるものの、日本語では最後に出力することになるため、生成の即時性が損なわれることになる。これを解消するために、動詞を繰り返し生成することが有効である。繰り返しは、一般に、発話した内容に関してより詳細な情報を追加する場合に現れる言語現象である。動詞が入力された時点でそれに対する翻訳結果を出力し、それ以後の部分についての翻訳処理を終えた後、再度、動詞を出力する。例えば、(2.1) の場合、「彼は会えた。彼女に公園で会えた」を生成する。これにより、最初の「会えた」の出力により動詞を即時生成し、さらに、「誰に何処で会えたのか」に関する内容を追加した発話を生成できる。

表 1: “He met her in the park” に対する翻訳処理の流れ

入力	解析木	英語依存関係	日本語依存関係	出力
he	$[[he]_{np}[?]_{vp}]_s$	$\langle subj(he, 1)(?, 2) \rangle$		
met	$[[he]_{np}[[met]_v[?]_{np}[?]_{pp}]_{vp}]_s$	$\langle subj(he, 1)(met, 2), \langle obj(?, 3)(met, 2), \langle ?(?, 4)(met, 2) \rangle \rangle \rangle$	$\langle \text{は}(\text{彼}, 1)(\text{会った}, 2), \langle ?(?, 3)(\text{会った}, 2), \langle ?(?, 4)(\text{会った}, 2) \rangle \rangle \rangle$	彼は
her	$[[\sqrt{np}[[met]_v[her]_{np}[?]_{pp}]_{vp}]_s$	$\langle obj(her, 3)(met, 2), \langle ?(?, 4)(met, 2) \rangle \rangle$	$\langle \text{に}(\text{彼女}, 1)(\text{会った}, 2), \langle ?(?, 4)(\text{会った}, 2) \rangle \rangle$	彼女に
in	$[[\sqrt{np}[[met]_v[\sqrt{np}[[in]_p[?]_{np}]_{pp}]_{vp}]_s$	$\langle in(?, 5)(met, 2), \langle ?(?, 5)(\text{会った}, 2) \rangle \rangle$	$\langle ?(?, 5)(\text{会った}, 2) \rangle$	
the	$[[\sqrt{np}[[met]_v[\sqrt{np}[[in]_p[[the]_d[?]_n]_{np}]_{pp}]_{vp}]_s$	$\langle in(?, 6)(met, 2), \langle ?(?, 6)(\text{会った}, 2) \rangle \rangle$	$\langle ?(?, 6)(\text{会った}, 2) \rangle$	
park	$[[\sqrt{np}[[met]_v[\sqrt{np}[[in]_p[[the]_d[park]_n]_{np}]_{pp}]_{vp}]_s$	$\langle in(park, 6)(met, 2), \langle ?(?, 6)(\text{会った}, 2) \rangle \rangle$	$\langle \text{で}(\text{公園}, 6)(\text{会った}, 2) \rangle$	公園で 会った

5.2 言い直しを活用した生成処理

機械翻訳を困難にする原因の一つとして、入力文の曖昧性の問題が挙げられる。特に、漸進的な翻訳処理では、入力文を漸進的に解釈する必要があるが、その途中の段階では文全体の入力未了であるため、一般に正しい解釈の候補は複数存在する。ところが、漸進的な翻訳システムは翻訳の即時性を優先するために、その中から一つの解釈を選び出し、それに対する翻訳結果を生成する。よって、それ以降の解析の進展にともない選択された候補が除去され、結果として生成された翻訳結果が言い誤りとなる可能性がある。例えば、(2.1) の場合、“her” の後に “uncle” が入力される可能性があり、その場合には、「彼女に」ではなく「彼女の」が正しくなる。この問題に対して、言い直しの生成が有効であり、効果的な入力の曖昧さに対する頑健性を備えた翻訳処理が期待できる。

6 まとめ

本稿では、漸進的な英日話し言葉翻訳処理のための日本語文生成手法を提案した。本手法では、語順ができる限り英語入力文に準拠し、かつ、日本語係り受け制約を充足する日本語文を生成する。

本手法の実現可能性を示すために、これまでに、英語会話を日本語に漸進的に変換するプロトタイプシステムを語彙 454 語、文法 233 語の規模で作成し、本稿で示した例に対して漸進的に日本語を生成できるを確認している。現在、手法の有効性を評価するために、「ホテル予約」を対象とする対話翻訳実験を進めており、その結果については稿を改めて報告する予定である。

参考文献

- [1] Amtrup, J.W.: Chart-based Incremental Transfer in Machine Translation, *Proc. of 6th Int. Conf. of Theoretical and Methodological Issues in Machine Translation*, pp. 131–138 (1995).
- [2] Furuse, H. and Iida, H.: Incremental Translation Utilizing Constituent Boundary Patterns, *Proc. of 16th Int. Conf. on Computational Linguistics*, pp. 412–417 (1996).
- [3] Iida, H., Sumita, E. and Furuse, O.: Spoken Language Translation Method using Examples, *Proc. of 16th Int. Conf. on Computational Linguistics*, pp. 1074–1077 (1996).
- [4] Kay, M.: Algorithm Schemata and Data Structures in Syntactic Processing, *Tech. Rep. CSL-80-12*, Xerox PARC (1980).
- [5] Kitano, H.: Incremental Sentence Production with a Parallel Marker Passing Algorithm, *Proc. of 13th Int. Conf. on Computational Linguistics*, pp. 217–222 (1990).
- [6] Kitano, H.: *Speech-to-Speech Translation: A Massively Parallel Memory-based Approach*, Kluwer Academic Publishers (1993).
- [7] Matsubara, S. and Inagaki, Y.: Utilizing Extra-Grammatical Phenomena in Incremental English-Japanese Machine Translation, *Proc. of 7th Int. Conf. of Theoretical and Methodological Issues in Machine Translation*, pp. 131–138 (1997).
- [8] Matsubara, S. and Inagaki, Y.: Incremental Transfer in English-Japanese Machine Translation, *IEICE Trans. on Information and Systems*, Vol. E80-D, No. 11, pp. 1122–1129 (1997).
- [9] Matsubara, S., Asai, S., Toyama, K. and Inagaki, Y.: Chart-based Parsing and Transfer in Incremental Spoken Language Translation, *Proc. of 4th Natural Language Processing Pacific Rim Symposium*, pp. 521–524 (1997).
- [10] 松原 茂樹, 浅井 悟, 外山 勝彦, 稲垣 康善: 不適格表現を活用する漸進的な英日話し言葉翻訳手法, *電気学会論文誌*, Vol. 118-C, No. 1, pp. 71–78 (1998).
- [11] 美馬 秀樹, 古瀬 蔵, 飯田 仁: 同時通訳システムの実現に向けた漸進的な翻訳処理, *情報処理学会第 54 回全国大会講演論文集 (2)*, pp. 11–12 (1997).