自然言語の漸進的解釈とその応用に関する研究

松 原 茂 樹

名古屋大学図書
和 1277620

もくじ

1 まえがき **1**

1.1 自然言語の漸進的解釈 1

1.2 人間の言語理解過程における漸進性 3

1.3 漸進的解釈とその有用性 4

1.3.1 構造的曖昧性の解消 5

1.3.2 語義的曖昧性の解消 7

1.3.3 形式的モデルに基づく手法 8

1.3.4 実時間音声言語処理システムの実現 9

1.4 本論文の目的と内容 10

1.4.1 話し言葉翻訳システムに関する研究動向 10

1.4.2 マルチモーダル音声対話システムに関する研究動向 12

1.4.3 本論文の内容 13

1.5 本論文の構成 14

2 漸進的な英日話し言葉翻訳システム **17**

2.1 はじめに 17

2.2 語の生起順序と漸進的な翻訳処理 18

2.3 文法的不適格表現を活用した日本語翻訳文の生成 21

2.3.1 文法的不適格表現とその活用方法 22

2.3.2 文法的不適格表現の出現頻度 26

2.3.3 漸進的な翻訳結果の例 27
2.4 システムの概要 28
2.5 漸進的なチャート解析処理 31
2.5.1 チャート解析法 31
2.5.2 漸進的なチャート解析手法 34
2.5.3 漸進的チャート解析アルゴリズム 38
2.5.4 漸進的な解析処理の例 39
2.6 漸進的な変換処理手法 42
2.6.1 変換処理の手続き 42
2.6.2 変換処理対象の選択 46
2.7 言い直しを活用した変換処理手法 49
2.7.1 言い直しの実現方法 49
2.7.2 言い淀みの活用 53
2.8 翻訳実験 53
2.8.1 翻訳正解率の実験 54
2.8.2 翻訳処理時間の実験 55
2.9 言い直しの活用について 56
2.10 おわりに 58

3 漸進的なマルチモーダル音声対話処理システム 61

3.1 はじめに 61
3.2 マルチモーダル漸進的解釈モデル 62
3.2.1 話し言葉処理プロセス間の関係 62
3.2.2 人間の理解過程における漸進性 63
3.2.3 マルチモーダル漸進的解釈モデルの概要 63
3.3 マルチモーダル描画エディタ 66

3.3.1 システムの概要 66
3.3.2 オブジェクトとオブジェクト空間 68
3.3.3 オブジェクト空間の更新 69
3.4 実行例 71
3.4.1 線の描画 71
3.4.2 図形の移動 73
3.4.3 操作の取り消し 75
3.4.4 図の消去 76
3.5 評価 77
3.5.1 実験方法 77
3.5.2 実験結果 79
3.6 おわりに 80

4 あとがき **81**
4.1 本論文のまとめ 81
4.2 今後の課題と将来への展望 83

謝辞 **87**

発表論文リスト **89**

参考文献 **93**

付録 **107**

図一覧

2.1 日本語翻訳文 (2.2) の出力のタイミング 20

2.2 日本語翻訳文 (2.4) と (2.5) の出力のタイミングの比較 23

2.3 日本語翻訳文 (2.7) と (2.8) の出力のタイミングの比較 24

2.4 日本語翻訳文 (2.12) の出力のタイミング 26

2.5 日本語翻訳文 (2.13) の出力のタイミング 28

2.6 漸進的な英日話し言葉翻訳システムの構成 29

2.7 文脈自由文法の例 31

2.8 解析処理に対する辞書の例 32

2.9 不活性弧の例 32

2.10 活性弧の例 32

2.11 チャートの初期状態 34

2.12 文法規則の適用操作の例 36

2.13 項の置き換え操作の例 36

2.14 (2.14) に対する局所チャート 41

2.15 (2.14) に対する大域チャート 41

2.16 変換規則の例 42

2.17 変換用の辞書の例 42

2.18 語 “Ken” が入力された時点での大域チャート 43

2.19 語 “met” が入力された時点での大域チャート 44

2.20 語 “her” が入力された時点での大域チャート 47

2.21 語 “aunt” が入力された時点での大域チャート 50
2.22 変換処理対象の更新 52
2.23 言い直しの頻度と翻訳精度の関係 57
2.24 入力文の長さと言い直しの回数の関係 58

3.1 マルチモーダル漸進的解釈モデル 64
3.2 文単位処理モデルと漸進的解釈モデルの比較 65
3.3 Sync/Draw の構成 67
3.4 属性間の関係 (一部) 69
3.5 (3.1) の「まで」が入力された時点の実行画面 71
3.6 (3.2) の「まで」が入力された時点の実行画面 73
3.7 評価実験課題の初期画面 78
3.8 各被験者の作業時間 78

表一覧

2.1 文法的不適格表現の出現頻度 27
2.2 図 2.7 の文脈自由文法に対する到達可能行列 34
2.3 (2.14) に対する漸進的なチャート解析過程 40
2.4 英語会話 278 文の翻訳正解率 54
2.5 翻訳誤り (タイプ (C),(D),(E)) の原因 55
2.6 一単語に対する翻訳処理時間 56

3.1 (3.1) に対する描画プロセス 72
3.2 (3.2) に対する描画プロセス 74
3.3 平均作業時間の比較 79

第 1 章

まえがき

1.1 自然言語の漸進的解釈

音声は人間の最も自然で手軽なコミュニケーション手段であり，それが有する多様性や融通性などの性質は，人間同士の会話に限らず人と計算機との間の情報伝達手段としてもまた望ましいものである．音声を入出力インタフェースとする計算機システムを実現するために，高い性能を備えた音声認識や音声合成技術の研究が音声処理の分野で，また，自然言語の高度で柔軟な理解を可能とするシステムの研究が自然言語処理の分野でそれぞれ行われてきた．近年になって，両分野における技術レベルの進展を背景に，音声処理技術と自然言語処理技術とを融合し，より高度で複合化した処理を行える音声言語処理システムの実現が新たな研究課題として注目されるようになった．そのようなシステムとして音声対話システム [白井 & 竹澤 1994] や音声言語翻訳システム [飯田 & 古瀬 1996] などがあり，現在，その基礎技術の確立及び各要素技術の統合方式が検討されている．

音声言語処理システムを実現するための不可欠な技術として，話し言葉 (spoken language) の解析手法が挙げられる．話し言葉は自然言語 (natural language) の範疇に属するものの，自然言語処理に関する研究の多くはこれまで書き言葉 (written language) を対象としてきた．すなわち，入力される自然言語文はシステムがもつ辞書や文法によって定義された適格な文であることを前提としており，それか

ら逸脱した文に対して頑健に対処することは困難であった．ところが話し言葉には，繰り返しや語順の逆転，言い誤り，言い直し，さらには言い淀みなど，文法的に不適格な表現や現象が実に頻繁に現れる [松本 1992]．よって，これまでに提案された自然言語の解析手法をそのまま話し言葉に適用することは賢明な方法とはいえず，話し言葉を処理するための新たな手法が求められる．実際，頑健な話し言葉処理のための方法として，2 段階モデルに基づく手法 [Mellish 1989, 加藤 1995]，助詞の省略や言い直しなどの特定の非文法的言語現象に対処するための手法 [山本ら 1992, Sagawa et al. 1994]，構文や意味を統一的な枠組を用いて解析する手法 [Hobbs et al. 1993, 伝 1997] などがあり，現在までに多くの成果が得られている [伝 1996]．

一方，話し言葉に関するこの他の重要な特徴として，書き言葉と話し言葉との間の出現形態に関する違いを挙げることができる．通常，書き言葉が文字の列として出現するのに対して，話し言葉は音素の時間軸上の連続として現れるのが一般的であり，その出現は極めて一過性が高い．このことは，話し言葉の処理では文より小さな単位，例えば，語などを処理単位とすること，ならびにそれを即時的に解釈することの必要性を示唆している．このような要請を満たすために自然言語を左から右へ順次解釈することが可能な枠組が必要であり，このような観点に基づいた自然言語の解釈手法は**漸進的解釈** (incremental interpretation)[1] とよばれている [Mellish 1985, Inagaki & Matsubara 1995]．

本論文では，音声言語処理システムの実現に漸進的解釈技術を用いることを提案する．漸進的解釈の導入により，音声入力に対してそれと同時進行的に出力することが可能な高度実時間言語処理システムの実現が期待できる．次節以降では

[1]「漸進的 (incremental)」とは本来，「順を追って少しずつ進む」ことを意味する．このためどのような「順」を想定するかによって，「漸進的解釈」という用語の用途が研究者により異なるという事実が存在する [Wirén 1989, Wirén 1994, Pereira & Pollack 1991]．ただし本論文では，「漸進的解釈」を語の出現順序に従って，できる限り語単位で解釈することとして用いる [Inagaki & Matsubara 1995]．

まず，人間の言語理解プロセスにおける漸進的な側面について認知心理学における実験結果を踏まえながら議論する．次に，自然言語処理における漸進的解釈技術の有用性について述べ，それに関する研究動向を示す．最後に，話し言葉処理の応用システムに関する研究動向について述べ，本論文の内容及び構成を示す．

1.2 人間の言語理解過程における漸進性

人間の言語理解プロセスは連続的なものであり，発声された言語をほぼ同時的に理解しているという見方は我々の直観に大いにかなっている [奥村 1994]．事実，人間の言語理解における漸進性 (incrementality) の存在は認知心理学の分野において広く認識されており，その存在を示唆すると推測される実験結果がこれまでにいくつか報告されている [Altmann & Steedman 1988]．その多くは Marslen-Wilson と Tyler による一連の実験によるものである [Marslen-Wilson & Tyler 1987].

発話復唱実験では，被験者はおよそ 1 音節分に相当する約 250ms の遅れで復唱でき，さらに発話の意味内容をも正確に理解できることを実証した．この結果は，言葉の発声に対して聞き手がかなり小さな単位で，しかも瞬時に発話内容を理解していることを示している．語の受信時間に関する実験では，文脈情報があらかじめ存在する場合の方がそうでない場合よりも語の受信時間が短く，たとえ文脈情報が与えられていない場合でも，文の後の方の発声であるほど受信時間が短かくなるという結果が得られている．これは，聞き手が音声をその出現順に従って語単位で解釈していること，ならびに，解釈された語はさらに来るべき語に対する文脈情報として機能することを示唆する．また，文脈に依存した曖昧性解消のタイミングに関する実験では， 被験者に 2 通りの条件節

(1.1) If you walk too near the runway, landing planes ...

(1.2) If you've been trained as a pilot, landing planes ...

を与え， "landing planes" の後に "is"， "are" のいずれが来るのかを即座に答え

ることを求めた．“landing” は現在分詞と動名詞の二つの読みが可能であり，分詞であれば “are”，動名詞であれば “is” が来る．実験の結果，被験者は (1.1) では “are”, (1.2) では “is” が来ると答えた．これは，各条件節と主語 “landing planes” との意味的関係の解析により得られたものと推測できる．

他の実験としては，指示代名詞を聞いてそれに対する指示対象を同定するという行為が，指示代名詞が発声された直後に行われるという結果が報告されている [Sanford & Garrod 1989].

一方，人間同士の対話を考えると，言語理解プロセスにおける漸進性は，音声による自然な対話を進めるための重要な性質であることがわかる．例えば，話し手が言葉を発した場合，聞き手は発話を聞きながら漸進的にその意味内容を理解することができ，またその理解と同時的に次に応答すべき内容を考えることができる．このため，対話のターンが交替すると即座に返答することができ，結束性を損なうことなく円滑に対話を進めることができる．また，たとえ話し手の発話途中であっても，その時点までの発話内容に対する解釈結果から，それ以降の発話が不必要であると聞き手が判断した場合，割り込みによってその発話を遮断し中断させることもできる [Milward & Cooper 1994]．これにより無駄な発話が避けられ効率的に対話を行える．

1.3 漸進的解釈とその有用性

自然言語の漸進的解釈に関する研究は，

(1) 構造的曖昧性 (structural ambiguity) の効率的解消

(2) 語義的曖昧性 (lexical ambiguity) の効率的解消

(3) 形式的意味論 (formal semantics) の構築

(4) 実時間音声言語処理システムの実現

などの動機のもと，これまでにいくつかの研究が行われている [Haddock 1989, 奥村 1994, Inagaki & Matsubara 1995]．本節では，それぞれの動機に対して自然言語の漸進的解釈の有用性を述べ，それに関する研究動向を示す．

1.3.1 構造的曖昧性の解消

自然言語処理における厄介な問題の一つに自然言語に内在する曖昧性がある．自然言語処理は通常，統語解析や意味解析など複数の解析プロセスから構成されており，ある単一の解析プロセスで生じた曖昧性はそれ以外のプロセスによる解析結果をもとに解消できる場合がある．しかし，単一のプロセスによる曖昧性の解消が十分でない場合，他のプロセスで処理すべき情報が増大し，システム全体の解析効率が低下する．例えば，構文解析プロセスで生成された複数の構文構造はそれらに対する意味解析の過程である程度絞り込めるが，構文解析の結果あまりに多くの構造が作成された場合，そのすべての構造に対して意味解析を行わなければならず，結果として全体の処理時間が増大する．したがって，一文全体の構文解析を完了する前に，解析途中で作成される部分的な構文解析結果に対してできるだけ早い段階で意味解析を実行し，その結果をもとに曖昧性を解消することが考えられる．つまり，途中の段階で作成されている部分構造のうち，意味上の制約に反すると判断された構造をその時点で刈り込むことにより，それから派生するあらゆる構文構造の作成に要する時間を節約することができる．よってこの戦略を導入すれば，構文解析プロセスと意味解析プロセスの双方の効率化が可能となる．

このような考え方に基づき，自然言語文を漸進的に解釈し，解析途中で生成された部分的な構文構造の刈り込みを随時試みることにより，効率的に構造的曖昧性を解消する方法が提案されている [Haddock 1989]．

Mellish は，文の解析途中での早い段階で名詞句の指示対象を同定するために，名詞句から制約条件を獲得し，それに対する各対象の充足可能性を計算することにより指示対象を評価する枠組を提案した [Mellish 1985]．その結果を構文解析プ

ロセスに反映することにより構造的曖昧性を解消できる可能性がある．しかし，その枠組は Mellish 自身が認めるように，確定節文法 (definite clause grammar: DCG)[Pereira & Warren 1980] に基づいているため，完全に文の左から右への漸進的解釈が実現されていなかった．

それに対して Haddock は， Mellish のモデルを踏まえ，漸進性に関してより洗練したモデルを提案した [Haddock 1987]．このモデルではコンビネータ範疇文法 (combinatory categorial grammar)[Ades & Steedman 1982, Steedman 1987] を用いて英語文を解析する．コンビネータ範疇文法は，通常の範疇文法に対して新たに合成 (composition) に関する規則を導入した枠組であり，新たな語が入力されるたびにそれまでの入力に対する範疇を求めることができる． Haddock のモデルでは，指示の支え (referential support) [Altmann & Steedman 1988] とよばれる心理学的知見を活用する．指示の支えによれば，人がある対象物に対して言語を用いて参照するとき，それを唯一に決定するために必要かつ最小限の言語表現を用いる．したがって，ある「ネコ」を参照したい場合，その文脈上に一匹しか「ネコ」が存在しなければ “the cat” と表現することにより唯一の「ネコ」を参照可能であるし，複数存在していれば，例えば “the cat in the box” と表現する．英語文

(1.3) She saw the cat in the box.

には，前置詞 “in the box” が 名詞 “cat” に係る，あるいは動詞 “saw” に係るという構造的曖昧性が存在する．それに対して文の左から順に解釈を進めていき，“cat” が入力された時点で意味解析を実行し，その指示対象が唯一に決定されれば名詞 “cat” に係るとする構造を破棄する．

また秋葉らは， 一般化弁別ネットワークに基づく漸進的な曖昧性解消モデル [Okumura & Tanaka 1990, 奥村 & 田中 1992] を用いて，日本語を漸進的に構文解析する方法を提案している [秋葉ら 1993]．係り受け解析の比較的早い段階で意味解析を導入することにより，日本語の係り受けに関する曖昧性を効率的に解消

することができる.

1.3.2 語義的曖昧性の解消

前節では漸進的解釈により構造的曖昧性を効率的に解消する枠組について述べたが，その他の曖昧性として一つの単語に複数の意味が存在するという語義的曖昧性がある．早い段階で意味解析結果を導入することにより漸進的に構造的曖昧性を解消する手法は，語義的曖昧性が解析途中の段階で十分に洗練されていることが前提となる．

このため，自然言語文を漸進的に解釈し，できる限り早い段階で単語の意味を同定する方法が提案されている [奥村 1995].

Bobrow と Webber は，語義の曖昧性解消のために語義と語義の間の関係をネットワークとして表現し，それをたどることによって次第に語義を洗練するシステム PSI-KLONE を提案した [Bobrow & Webber 1980]．例えば，動詞 “run” は「走る」，「(機械) を動かす」，「(機械が) 動く」などの意味があり，意味解析によってそれを段階的に洗練する必要がある．英語文

(1.4) John ran the drill press.

を解析する場合， まず，“ran” が入力された時点で，動詞 “run” に関するネットワークを主語が「人間」タイプであるとしてたどることにより，語義を「走る」や「(機械) を動かす」などに絞る．次に “the drill press” が入力されると，目的語が「機械」タイプであるとしてネットワークをたどることにより，語義を「(機械) を動かす」に決定する．なお，構文解析には拡張遷移ネットワーク (Augmented Transition Network: ATN) [Woods 1970] を用いている．しかしこの枠組は，英語のように語の生起順序があらかじめ決まっている場合には有効であるが，日本語のように語順の自由度が大きい場合には適さない．これに対して奥村と田中は，表現のあらゆる入力順序に対応できる一般化したネットワークを考案し，それを用

いて語義的曖昧性を解消可能なモデルを提案している [Okumura & Tanaka 1990, 奥村 & 田中 1992].

また Hirst は，意味解析システム Absity においてポラロイド語 (Polaroid word) というモデルを用いて語義的曖昧性を解消する手法を提案している [Hirst 1988]. ポラロイド語とは，ポラロイド写真からの比喩で命名されたものであり，語が入力されるたびに語義が洗練されていくプロセスを表現したものである．すなわちポラロイド語では，複数の可能な語義を曖昧のまま表現することができ，新たな語が入力されるたびにポラロイド語同士が互いに作用することにより曖昧性を自律的に解消する．さらに奥村と田中は，ポラロイド語が複数の語義候補を洗練するプロセスを実行する枠組であり，語義をより詳細化していくプロセスを実現できないことに着目し，拡張ユニフィケーションと呼ばれる操作を用いて，その両方のプロセスを統一的に行えるモデルを提案している [奥村 & 田中 1989].

1.3.3 形式的モデルに基づく手法

自然言語の解釈を形式的に記述する枠組は一般に形式意味論と総称されており，モンタギュー意味論 [Dowty et al. 1981] 以来，多くの理論が提案された．また最近では，談話や文脈の理解の形式化が中心的課題となっており [Kamp & Reyle 1993], 談話表示理論 (discourse representation theory: DRT) [Kamp 1981] や状況意味論 (situation semantics) [Barwise & Perry 1983], 文脈状態の理論 (context state theorty) [Muskens 1990], さらには動的述語論理 (dynamic predicate logic: DPL) [Groendijk & Stockhof 1991] などの理論も提案されている．形式意味論の研究には，言語の意味解釈において生じるさまざまな現象に対してその過程を形式化するという目的があり，漸進的解釈もまたその記述対象となり得る．

Suzuki と Tutiya は，状況意味論の枠組に基づき，状況タイプを順次連結していく過程として漸進的解釈を形式化し，それを日本語の埋め込み構造の解釈に応用している [Suzuki & Tutiya 1991].

Milwardは，モンタギュー意味論で採用された内包論理に基づき，λ表現の簡約の過程として漸進的解釈を形式化している [Milward 1992].

松原らは，談話表示理論の枠組の上で，単語を解析するごとに談話表示構造を更新する過程として漸進的解釈を形式化している [松原ら 1995a]。さらに，動的述語論理に基づき付値関数の集合を更新する過程として漸進的な意味解釈を定式化したモデルを構築している [松原ら 1995b]。

1.3.4 実時間音声言語処理システムの実現

1.2節では人間の言語理解における漸進性について述べ，それが自然な対話を遂行する上で不可欠な性質であることを指摘した．このことは，人と計算機との間のインタラクションにおいても同様に成り立ち，漸進的解釈に基づく音声言語処理システムの実現が重要であることを示唆する．音声言語処理の実際の応用として話し言葉翻訳システム及び音声対話システムがあり，いずれにおいても漸進的解釈は有用であると考えられる [Milward & Cooper 1994]．なかでも同時通訳システムや高度に柔軟な対話処理システムの場合，ユーザによって生成される話し言葉を漸進的に解釈する必要がある [Inagaki & Matsubara 1995].

これらの研究動向については次節で詳細に論じるためここでは省略するが，以下では，漸進的な話し言葉処理に関連した一つの研究について言及する．

竹林らは，自由発話に対する実時間音声対話処理システムTOSBURGを開発している [Takebayashi et al. 1993]． TOSBURGは音声の同時理解を実現しており，実時間リアクションが可能である．また，ユーザによるシステムの発話の遮断にも適切に対応でき，人と計算機との柔軟な対話が可能である．このような対話は，漸進的解釈に基づく音声対話システムが目指す対話形態にかなり近いといえる．しかし，その発話理解メカニズムはキーワードスポッティングがベースとなっている [金沢ら 1993]．すなわち，キーワードを検出するたびに解析を進め適切な応答を行う [坪井ら 1997]． TOSBURGがタスクとして採用するファースト

フードの注文のように，出現するキーワード間の関係がかなり限定されている場合にはキーワードのみによる解析技術も現実的ではあるが，一般の自然言語を対象とする枠組としては不十分である．したがって本論文では，このような言語処理手法を自然言語の漸進的解釈技術の対象外として議論を進める．

1.4 本論文の目的と内容

本論文の目的は，漸進的解釈に基づく音声言語処理システムを開発すること，ならびに，それを評価することにより漸進的な音声言語処理の有効性を確認することである．そのために，音声言語処理における代表的な応用である話し言葉翻訳処理，ならびにマルチモーダル音声対話処理に焦点を当てて，それらに対して漸進的解釈をベースとするシステムを構築する．以下ではまず，話し言葉翻訳システム，マルチモーダル音声対話システムに関する研究動向を示し，本論文の研究内容について述べる．

1.4.1 話し言葉翻訳システムに関する研究動向

これまでに提案された話し言葉翻訳システムとして，ATR 自動翻訳研究所で開発された音声翻訳システム SL-TRANS [永田 & 小暮 1990, Morimoto et al. 1992]，音声言語翻訳実験システム ASURA [鈴木 & 関 1993]，日英対話翻訳実験システム NADINE [飯田 1991]，ATR 音声翻訳研究所の用例主導翻訳システム EBMT [Sumita & Iida 1992]，変換主導型機械翻訳システム TDMT [Furuse & Iida 1994, 古瀬ら 1994]，NEC で開発された自動通訳システム INTERTALKER [畑崎 1992] などがあるが，いずれも原言語文から目標言語文への文単位での変換処理が実現されている．そのような翻訳システムを実際に話し言葉に適用すると，原言語文が完全に入力された後でないとシステムは翻訳処理を開始することができず，結果として会話の結束性が大きく損なわれるという問題がある．これは，一般に文単位での変換処理手法が，実時間話し言葉翻訳システムに適当ではないことを意味しており，そ

の実現のために目標言語文の生成が原言語文の入力とほぼ同時進行的に実行される漸進的な翻訳処理手法が必要となる [Menzel 1994]. それに対して，漸進的な文生成手法 [Kitano 1990a] に基づく同時通訳モデル [Kitano 1990b] が Kitano によって，独英機械翻訳における主辞交換処理のためのチャートを用いた方法 [Amtrup 1995] が Amtrup によって，さらに， TDMT [Furuse & Iida 1994, 古瀬ら 1994] における構成素境界パターン (constituent boundary pattern)[Furuse & Iida 1996] を用いた漸進的文生成法 [赤峯 & 古瀬 1995] に基づく同時通訳システム [美馬ら 1997] が美馬らによって提案されている．これらはいずれも，翻訳の対象として話し言葉を想定しており，できる限り早い段階で翻訳結果を出力することを目的としている．

一方，そのような機械翻訳を実現するための解決すべき問題の一つとして，原言語と目標言語との間の語の生起順序に関する違いに対する処理が挙げられる．例えば，英語を日本語に漸進的に変換する場合，

1. 英語では，動詞が文の比較的早い段階で出現するのに対して，日本語では動詞が最後に現れる．このため，英語の動詞が入力されたときに，対応する日本語を即座に生成することが難しくなる．

2. 英語における任意格表現の生起順序は，日本語の場合と逆行するという傾向がある．よって，すべての任意格が入力された後でないと，それらの翻訳処理を実行できない可能性がある．

などの問題が生じる．しかし，上述したシステム [Kitano 1990b, Amtrup 1995, 美馬ら 1997] では，両言語間の語の生起順序の違いに関する問題には立ち入っておらず，原言語文の入力と目標言語文の生成とが同期する翻訳処理を実現するものではない．

1.4.2 マルチモーダル音声対話システムに関する研究動向

従来のインタラクティブシステムでは，キータイプやポインティングなどを介して入力が実行されていたが，音声入力の併用が可能となれば，

- マウスやキーボードの操作に不慣れな初心者に対して操作性が向上することはもちろん，可能なモダリティを自由に選択して入力することができるため，熟練者にとっても複雑な操作を容易に行える可能性がある．
- 指示対象の参照行為などにおいて複数のモダリティを相補的に用いることができるため，入力の信頼性が向上する．

などの利点が得られ，ユーザはより効率的にタスクを実行できる．このような背景のもと，マルチモーダル音声対話に関する研究が盛んに行われるようになり [竹林 1994]，インテリアデザインシステム [Ando et al. 1994, 安藤ら 1994]，作図システム [Bolt 1980, 西本ら 1996]，地理案内システム [神尾ら 1994] など，音声の併用により，効果的なインタラクションを可能とするシステムがいくつか試作されている．また，これらのシステムを用いた実験の結果，音声との協働によるユーザの操作性の向上が報告されている．対話システムでは，ユーザと計算機との間の効果的なインタラクションの実現のため，インタラクションの正確さにも増して，そのタイミングが重要となる．このため，マルチモーダル音声対話を設計する上で，マルチモーダル入力をどのように解釈すべきかを定める必要がある．そのための方式として，マルチモーダル確定節文法 (MM-DCG) [島津 & 高島 1994], 情報統合テーブル [Ando et al. 1994] などがあり，音声とポインティングからなるマルチモーダル入力情報を統合する方法について検討している．しかし，これらの方式では文を処理単位としており，音声言語文全体が入力されてからその解析を開始することが前提となっている．ユーザの入力に対するリアクションの即時性が損なわれるため，これらの方法は効果的なインタラクションの実現に適さないという問題がある．

1.4.3 本論文の内容

本論文ではまず第一に，原言語文の入力に対してほぼ同時進行的に目標言語文を生成することが可能な手法として，日本語話し言葉の文法的不適格表現を活用する漸進的な英日機械翻訳手法を提案する．話し言葉は一般に，書き言葉には見られないさまざまな文法的不適格性が頻繁に出現するものとして特徴付けられるが [伝 1997]，人間はその高度な発話理解能力により，実際の対話に現れる不適格な発話を容易に理解することができる．そこで，日本語話し言葉の文法的不適格性をむしろ積極的に容認し，原文の意味内容を表現する日本語文の形態を通常よりも豊富にすれば，入力された英語文に似た語の生起順序をもつ日本語翻訳文の生成が可能になると考えられる．すなわち，そのような日本語文を漸進的な翻訳結果として用い，それを入力と同時進行的に生成することが本研究の基本的な考え方である．したがって，本手法は，高度な解析・変換処理により翻訳結果の品質の高さを追求するものではなく，原文の意味内容をユーザが正しく理解できさえすればよいという観点のもとで，実時間での翻訳処理を実現する．本手法に基づく翻訳システムは，いわゆる同時通訳のように振る舞うため，ユーザの待ち時間が大幅に短縮される効率的な話し言葉翻訳システムの実現が期待できる．

本論文では，話し言葉に対する翻訳結果として，さまざまな文法的不適格表現のうち，特に繰り返し，語順の逆転，省略，言い誤り，言い直し，言い淀みを含む発話の生成を容認することにより，英語文の入力とほぼ同期的に進行する日本語文出力を実現できることを示す．また本手法では，途中までの入力に対する漸進的な解析結果を逐次表現するために，チャートに基づく解析手法 [Kay 1980] を導入する．本論文で提案した翻訳手法の有効性を評価するために実験システムを実装し，ATR 対話データベース [江原ら 1990] のバイリンガル対話を用いた翻訳実験を行った．その結果，容認可能な翻訳精度をもつ効率的な話し言葉翻訳の実現のために本手法が有効であることを確認した．

また第二に，マルチモーダル漸進的解釈モデルを提案する．本モデルは，入力処理プロセス，漸進的解釈プロセス，出力処理プロセスから構成され，それらが入力に対して同期的に働く．このため，入力と同時進行的に出力を実行することが可能であり，ユーザはシステムの処理結果を随時，確認しながら作業を進めることが可能である．またこのモデルによれば，システムの反応に関するユーザの待ち時間が短縮されるため，効率的に対話を進めることができる．

モデルの有効性を確認するために，日本語音声とマウスポインティングを入力とするマルチモーダル描画システム Sync/Draw を作成した．Sync/Draw は，語順の逆転や照応表現などの言語現象に対照できるとともに，図形の移動や削除，コマンドの取り消し，さらには一般のツールでは描画が困難な作図に関するユーザの要求に対して柔軟に応答することができる．

1.5 本論文の構成

本論文は構成は以下の通りである．

次の第 2 章では，漸進的な英日話し言葉翻訳システムについて述べる．まず，英語と日本語との間の語の生起順序の違いが，翻訳処理の漸進性を大きく損なう要因となることを指摘する．その問題を解消するため，日本語会話に頻出する文法的不適格表現を活用して日本語翻訳結果を作成するというアイデアとその妥当性について検討し，翻訳例を示すことによりその有用性を示す．

さらに，漸進的な英日話し言葉翻訳システムの実現について述べる．システムの構成と処理手続きを示した後，まず，漸進的な翻訳処理を実現するための漸進的な解析手法を説明する．解析処理のアルゴリズムとその特徴，及び解析例を示す．次に，漸進的な変換処理手法について説明する．特に，言い直しの実現方法について詳細に述べ，言い直しをより自然に行うために言い淀みを活用することについて言及する．また，そのアイデアの実現可能性，及び有効性を検証するために作成したプロトタイプシステムの概要を述べ，それを用いて行った翻訳実験と

その結果について報告する．さらに，文法的不適格表現のうち，言い直しを活用することの利点及び問題点を考察する．

3 章では，漸進的なマルチモーダル話し言葉処理手法について述べる．まず，マルチモーダル漸進的解釈モデルとその有用性について論じる．次に，そのモデルに基づくマルチモーダル描画処理システム Sync/Draw を説明する．書換え規則の適用に基づく漸進的解釈プロセスについて述べ，実行例を提示することにより，Sync/Draw がさまざまなマルチモーダル入力に対して同時進行的に描画可能であることを示す．

最後に 4 章で，本論文のまとめと残された課題，将来への展望について述べる．

なお，話し言葉の解析を考える上で，その最大の特徴である文法的不適格性への対処法は重要な問題であるが，本論文では話し言葉の出現の連続的な側面にのみ着目することとし，非文解析の問題には立ち入らない．

第 2 章

漸進的な英日話し言葉翻訳システム

2.1 はじめに

機械翻訳を用いた多言語間コミュニケーションの実現のために，効率的な話し言葉翻訳システムの開発が望まれている [飯田 & 古瀬 1996]．話し言葉翻訳システムは，異なる言語を使用するユーザの間で，各々が自分の言語を使って対話を遂行することを可能にするものであり，その処理対象はユーザによって発声された話し言葉である．話し言葉は書き言葉と異なり，出現が時間的に連続的であるため，その翻訳処理もまた実時間でかつ即時的に行われることが要求される．

本章では，英語文の音声入力に対してほぼ同時進行的に日本語文を生成可能な漸進的英日話し言葉翻訳手法を提案する．英語と日本語とでは語の生起順序が異なるため，原言語の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困難である．この問題に対して本章では，日本語話し言葉に頻繁に現れる繰り返し，省略，語順の逆転，言い直し，さらには言い淀みなどの文法的不適格表現を含んだ翻訳結果を生成することを提案する．これらの表現を積極的に活用することにより，英語入力文を構成する各表現に対応する日本語表現の生起順序が，入力文と同一である日本語文を作り上げることができる．これらの表現は，文法的には不適格ではあるものの，話し言葉としてはむしろ自然であり，ユーザはシステムが出力する日本語文を容易に理解できると考えられる．

また本章では，漸進的な英日話し言葉翻訳システムを実現するための方法について述べる．システムは主に漸進的な解析処理と漸進的な変換処理から構成され，それらが入力に対して同時進行的に処理を実行する．漸進的な解析処理では，上昇型と下降型を融合した双方向チャート法 [秋葉 & 田中 1992] に基づき実行し，単語が入力されるたびに原言語文の構文構造を部分的に構築する．漸進的な変換処理では，部分構造に変換規則を適用することにより随時，目標言語表現を作り上げる．入力される英語会話文に対して，その入力順に従って順次日本語翻訳結果を生成することができるため，同時通訳の機能を備えた高度実時間話し言葉翻訳を実現することができる．

漸進的な英日翻訳手法の有効性を評価するためにプロトタイプシステムを関数型言語 Common Lisp を用いて UNIX ワークステーション上に実装した．ATR 対話データベース [江原ら 1990] の旅行申込みをタスクとする英語対話文を用いて翻訳実験を行った．その結果，容認可能な程度の翻訳の品質を保持した漸進的話し言葉翻訳処理の実現可能性を確認した．

本章ではまず 2.2 節で，英語と日本語との間の語の生起順序の違いに関する問題を指摘する．次に 2.3 節で，日本語話し言葉に現れる文法的不適格表現とその活用方法を説明し，活用例を通して英語文の入力とほぼ同期的に進行する日本語文出力を実現できることを示す．2.4 節でシステムの概要を示した後，2.5 節では漸進的なチャート解析処理を，2.6，及び 2.7 節ではチャートを用いた漸進的な変換処理を説明する．2.8 節では，プロトタイプシステムによる翻訳実験とその評価について述べる．2.9 節では，文法的不適格表現のうち言い直しを活用することについて考察する．

2.2 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，その日本語翻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) Ken could meet her in the park near the school yesterday.

この文に対する標準的な日本語翻訳文は

(2.2) 健は 昨日 学校の近くの公園で彼女に会えた．

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 2.1のようになる．図 2.1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．よって，このような翻訳処理を多言語間対話に導入すると，

- 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．
- 「健は」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．また，(2.1) の英語の述部 “could meet” は比較的早い段階で出現するにも関わらず，対応する日本語の動詞「会えた」は文の最後に現れるため，

- 翻訳処理の即時性が損なわれ，聞き手は，英語話者による表情や身振りなどのノンバーバルな情報と同期をとることが難しくなる．

(2.1) の入力	(2.2) の出力
Ken	健
could	は
meet	
her	
in	
the	
park	
near	
the	
school	
yesterday	昨日
	学校の
	近くの
	公園で
	彼女に
	会えた

図 2.1: 日本語翻訳文 (2.2) の出力のタイミング

という問題も起こる．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．実際，Kitano による翻訳文生成方法 [Kitano 1990a] も (2.2) のような標準的な翻訳文を出力するため，翻訳のタイミングは図 1 と同様になる．すなわち，英語文における主語の部分に対しては即座に翻訳結果を出力できるが，それ以外の部分については英語文全体が入力されるまで翻訳することができない．また，Amtrup による手法 [Amtrup 1995] は独英機械翻訳のためのものであり，原言語と目標言語との間の語の生起順序はある程度似通っているため，上述した問題はそれほど深刻ではない．ただし，主辞交換 (head switching) 現象[1] などに対しては，やはり同様の問題が残されている．したがって，英語文の入力に対して，それ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．

2.3 文法的不適格表現を活用した日本語翻訳文の生成

本節では，文法的不適格表現である繰り返し，語順の逆転，省略，言い誤り，言い直し，言い淀みについて説明し，本章で提案する話し言葉翻訳手法がそれらの表現をどのように活用するのかについて例を用いて概説する．また，実際の日本語通訳文においてもそれらの不適格性が頻出することを示す．さらに，それらを活用することにより，(1.2) と同じ意味内容をもち，かつ，それと生起順序が同一の日本語翻訳文を作成可能となることを実証する．

[1] 例えば，独語文 "*Ich* (I) *lese* (read) *täglich* (daily)" は英語文 "I read daily" と翻訳されるが，副詞 "täglich" がそれと品詞が同じである単語 "*gerne* (likingly)" に入れ替えられた文 "*Ich* (I) *lese* (read) *gerne*(likingly)" では，対応する英語文は "I like to read" となる．このように，ある言語で付加語 (adjunct) であった単語 (上の例では独語副詞 "*gerne*") が別の言語では主辞 (head) に対応する (上の例では英語動詞 "like") ことを主辞交換という．

2.3.1 文法的不適格表現とその活用方法

繰り返し

繰り返しは，発話した内容に関してより詳細な情報を追加する際に現れる言語現象である．

本手法では，英語の動詞が入力されると即座にそれに対応する日本語動詞を出力する．日本語の場合，動詞は文の最後に現れるため，そこで一旦翻訳文を閉じる．それ以降の入力に対する日本語は第 2 文において表現する．翻訳結果の品質を確保するために，第 2 文の最後に動詞を繰り返し生成する．例えば，次の英語文

(2.3) I live in a university dormitory.

に対して

(2.4) 私は 住んでいます 大学の寮に住んでいます

を生成する．動詞 “live” の入力に対してすぐに日本語「住んでいます」を生成できるため，出力の即時性を満たすことができる．一方，(2.3) に対する標準的な翻訳例は

(2.5) 私は 大学の寮に住んでいます

である．これらの日本語出力のタイミングを図 2.2に示す．(2.4) は「住んでいます」が繰り返し生成されていると言う点で (2.5) とは異なるものの，(2.3) の意味内容を正しく表している．また，翻訳システムのユーザからみた場合，(2.4) の第 2 文は，第 1 文の「住んでいます」に対して場所に関する情報を追加した発話とみなすことができ，自然な発話であるといえる．

語順の逆転

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

(2.3) の入力	(2.4) の出力	(2.5) の出力
I	私	私
live	は	は
in	住んで	
a	います	
university	大学	大学
dormitory	の寮に	の寮に
	住んで	住んで
	います	います

図 2.2: 日本語翻訳文 (2.4) と (2.5) の出力のタイミングの比較

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容認できる可能性があることを示唆する．例えば，

(2.6) How much is this tour?

に対する標準的な日本語翻訳文は

(2.7) 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システムが出力する

(2.8) 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． これらの日本語出力のタイミングを図 2.3に示す．本研究では，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．

(2.6) の入力	(2.7) の出力	(2.8) の出力
How		
much	いくら	
is	ですか	
this	この	この
tour	ツアーは	ツアーは
		いくら
		ですか

図 2.3: 日本語翻訳文 (2.7) と (2.8) の出力のタイミングの比較

省略

日本語では，さまざまな表現が実に頻繁に省略される [竹澤ら 1995]．また，聞き手が容易に補うことが可能な表現については，むしろそれを省略した方がより自然な会話文になることが多い．本手法においても省略を積極的に活用する．例えば (2.3) において，動詞が入力された時点では場所に関する情報は得られていないため，(2.4) のようにそれが省略された第 1 文をまず生成する．一方，第 2 文では主格が省略されているが，これは第 1 文から容易に補えることができるとともに，省略により，より自然な発話になっている．

言い誤り・言い直し

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が未了であるため，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維持するために，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ことが要求される [岩田ら 1996]．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，

(2.9) And are these tours expensive?

の場合，“these” は指示代名詞と指示形容詞という二つの異なる品詞をもっており，“tours” が入力される段階までにその曖昧性を解消することはできない．そこで，仮に指示代名詞としての解釈を選択するとそれまでの日本語翻訳文は，

(2.10) それとこれらはツアー

となり，次の “expensive” の入力に対して翻訳を続けても意味の通らない翻訳結果となる [浅井ら 1997a].

この問題を解消するため，本研究では言い直しを活用する．本手法では，選択した解釈の候補が削除されると他の解釈候補を選択し，それに対する翻訳結果を生成する．その結果 (2.9) に対して

(2.11) それとこれらはツアー，これらのツアーは高いですか

のような翻訳結果を作り上げることができ，入力の曖昧さに対する頑健性を備えた翻訳処理を行える．

言い淀み

言い淀みは，話し言葉において実に頻繁に現れるが，その出現箇所についてはいくつかの傾向がある．その一つとして言い直しの前に出現するということがいえる [松原 & 稲垣 1996a]．本手法においても選択されている解釈が削除された際に言い淀みを活用する．例えば (2.9) に対する翻訳文の生成において，システムが修正した翻訳結果「これらを」を言い直す前に，言い淀み，例えば「えーと」を出力する．

(2.12) それとこれらはツアー，えーと，これらのツアーは高いですか

(2.9) の入力	(2.12) の出力
And	それと
are	
these	これらは
tours	ツアー
expensive	えーとこれらの
	ツアーは
	高いですか

図 2.4: 日本語翻訳文 (2.12) の出力のタイミング

言い淀みを用いることにより，ユーザに言い直しの発生を認識させるという効果があり，より自然な発話になると考えられる．(2.12) の日本語出力のタイミングを図 2.4に示す．

2.3.2 文法的不適格表現の出現頻度

前節で提示した文法的不適格性が実際の日本語通訳文においても頻繁に現れることを示すために，ATR 対話コーパス [江原ら 1990] の中のバイリンガル対話のうち 4 対話を取り出し，英語話者によるすべての発話 278 文に対する英日通訳者による通訳文に対して，上で述べた文法的不適格表現の出現頻度を調査した．その結果を表 2.1に示す．この表から，本論文で提案する翻訳手法において活用する文法的不適格表現が実際の通訳文でも高頻度で現れることがわかる [松原 & 稲垣 1996a]．この点からも本手法が話し言葉翻訳のための方法として妥当であることが示される [松原 & 稲垣 1996b]．

表 2.1: 文法的不適格表現の出現頻度

不適格性	頻度 (回数)
繰り返し	24
語順の逆転	26
省略	70
言い誤り	45
言い直し	49
言い淀み	393

2.3.3 漸進的な翻訳結果の例

本章で提案する日本語翻訳文生成方法に従うと，英語文 (2.1) に対して次の日本語翻訳文

(2.13) 健は会えた 彼女に公園で えーと 学校の近くの公園で 昨日 会えた

を漸進的に生成することができる．(2.13) は，

- 「会えた」が繰り返されている．
- 「公園で」と「彼女に」の語順が逆転している．
- 「健は会えた」において誰に会ったのかが省略されている．
- 「公園で」は言い誤りであるが，「学校の近くの公園で」と言い直している．
- 「えーと」という言い淀み表現が現れる．

という点で標準的な翻訳文として示した (2.2) とは異なっているものの，(2.1) の意味内容を正しく表現している．(2.13) の出力のタイミングを図 2.5に示す．この図から，

(2.1) の入力	(2.13) の出力
Ken	健
could	は
meet	会えた
her	彼女に
in	
the	
park	公園で
near	えーと
the	
school	学校の
yesterday	近くの
	公園で
	昨日
	会えた

図 2.5: 日本語翻訳文 (2.13) の出力のタイミング

- 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．
- 動詞を含むほとんどの英語単語に対して，対応する日本語が即座に生成されるため，翻訳の即時性を満たすことができる．

ことがわかる．

2.4 システムの概要

漸進的な英日話し言葉翻訳システムの構成を図 2.6に示す． システムは，音声認

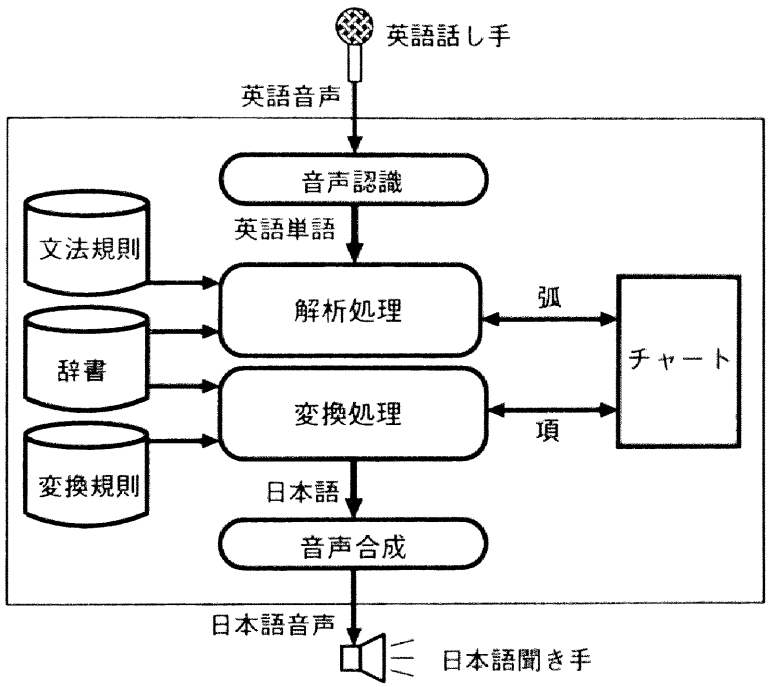


図 2.6: 漸進的な英日話し言葉翻訳システムの構成

識，音声合成，解析処理，変換処理，文法規則，変換規則，辞書，及びチャートから構成される．メインモジュールは解析処理と変換処理であり，それらが英語音声入力に対して同時進行的に処理を実行する．これを可能とするために本研究では，解析結果の表現形式としてチャート [Kay 1980] を導入する．その理由は，

- チャート法では通常，自然言語文を左から右へ語単位で処理するため，語が入力されるたびに逐次，解析処理を行うことができる．
- チャート法では，途中までに入力された部分的な表現に対する統語構造を，項と呼ばれるデータ構造として表現することができる．

ためである．

漸進的な解析処理のための手続きは到達可能性をもつ双方向チャート解析法 [田中 1989] に従う．ただし，新たな単語が入力されるたびにそれまでの入力に対

する新たな弧を求めるため，活性弧に付与された項の最左未決定項を，未決定項を含む別の項で置き換えるという操作を導入しており，通常の双方向チャート解析手法とはこの点が異なっている [松原ら 1997]．一般に，解析途中で得られる弧は複数存在するが，本手法では可能な解析結果をすべて残し，それらをリスト形式で記録する．新たな弧が一つも作成されないときは，原言語文の解析失敗であり同時に翻訳失敗でもある．

一方，漸進的な変換処理は，リストで表現された複数の変換処理可能な弧の中から先頭にあるものを変換の対象として選び出し，その構造に対してのみ変換規則を適用し翻訳結果を作り出す [浅井ら 1997b]．前節で説明した文法的不適格表現の活用方法はすべて変換規則の中に記述する．また，解析の進行にともない選択されていた弧が削除されたとき，新たにリストの先頭に置かれた弧を変換処理の対象とする．その際，まず言い淀みを生成し，その上で変換処理を実行することにより自然な言い直しを実現する．なお，生成可能な言い淀み表現は一般に多数存在するが，本手法では言語学的知見に基づきつつそれらの出現頻度に従って生成する．

なお，構造変換方式に基づく機械翻訳システムは，解析処理，変換処理，生成処理という 3 つの過程から構成されるのが標準的である [Rosetta 1994]．しかし，漸進的な翻訳処理では語が入力されるごとに目標言語を生成することを基本とするため，出力する文を適切に整えることを主要目的とする生成処理の存在は必ずしも不可欠というわけではない．そのため本研究では，システムの見通しをよくするため英語構造から日本語表現への変換処理を設計した．

文法規則としては文脈自由文法を用いるが，規則適用に関するループに陥ることを避けるため，左再帰規則を含まないものとする．変換規則は文法規則にそれぞれ対応して作成されるため，弧に対する変換規則の適用に関して曖昧性が生じることはない．また辞書には，英語単語とその統語範疇，及び日本語対訳が記述されており，解析処理では統語範疇が，変換処理では日本語対訳がそれぞれ参照される．

$$
\begin{array}{lcl}
s & \rightarrow & np \;\; vp \\
vp & \rightarrow & v \;\; np \\
np & \rightarrow & adj \;\; n
\end{array}
$$

図 2.7: 文脈自由文法の例

なお，音声入力に対して漸進的に単語を決定する音声認識技術は今のところ確立されておらず，現在のプロトタイプシステムでは DP マッチングに基づく単語認識システムが実装されている．

2.5 漸進的なチャート解析処理

本節では，システムの解析処理モジュールについて述べる．

2.5.1 チャート解析法

チャート解析法 [Kay 1980] は，文脈自由文法に対する構文解析手法の一つである．構文解析の途中経過を表現するために，チャートと呼ばれるデータ構造を用いる．ここではチャート解析法について，本章の以下の説明に必要な用語等を簡単に概説する．より詳細な説明として文献 [松本 1988, 田中 1989] 等を参照されたい．

チャート (chart) は，ラベル付きグラフとして定義される．ここで**節点** (node) の集合は非負整数の集合であり，n 語からなる入力文に対しては $n+1$ 個の整数 $0, 1, 2, \cdots, n$ が用いられる．節点 $i-1$ と節点 i との間は，入力文の左から i 番目の入力単語に対応している．またすべての**弧** (edge) には，**項** (term) と呼ばれる構文解析木がラベルとして付加される． 例えば，図 2.7を文法規則，図 2.8を辞書とするとき，入力文

(2.14) Ken met her aunt. [2]

[2] ここで "her" は，この文が発話された時点において文脈上に存在するある女性を参照可能な人称代名詞である。

$$
\begin{array}{lcl}
np & \rightarrow & \text{Ken} \\
v & \rightarrow & \text{met} \\
adj & \rightarrow & \text{her} \\
np & \rightarrow & \text{her} \\
n & \rightarrow & \text{aunt}
\end{array}
$$

図 2.8: 解析処理に対する辞書の例

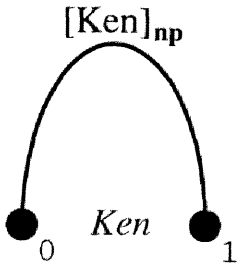


図 2.9: 不活性弧の例

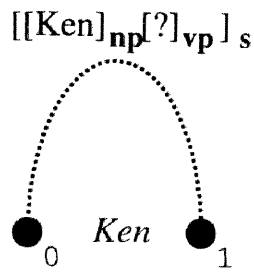


図 2.10: 活性弧の例

における語 "Ken" に対しては，節点 0 と節点 1 との間に項 $[Ken]_{np}$ がラベル付けられた弧が張られる (図 2.9参照)．項は，記号？を用いて構成された項を含むことができる．記号？はまだ構造が定まっていないことを表しており，x を範疇とするとき項 $[?]_x$ を**未決定項** (undecided term) という．なお，項の中の最も左に位置する未決定項を**最左未決定項** (left-most undecided term) という．例えば，入力文 (2.14) の "Ken" に対しては，節点 0 と節点 1 との間に項 $[[Ken]_{np}[?]_{vp}]_s$ がラベル付けられた弧が張られる (図 2.10参照)． ここで部分項 $[?]_{vp}$ は最左未決定項である．未決定項を含む項をラベルとしてもつ弧を**活性弧** (active edge) といい，そうでない弧を**不活性弧** (inactive edge) という．図 2.9に示された弧は不活性弧であり，図 2.10に示された弧は活性弧である．以下では，不活性弧を実線で，活性弧を点線で表す．

自然言語の構文解析では一般に，解析途中での文法規則の適用に関する曖昧性が存在する．しかし，規則の適用により得られたすべての部分構造が必要となるわけではないので，その適用に関して前もって制限を与えることは解析効率の点からも重要である．**到達可能性** (reachability) は，そのような制限を与えるために考案された範疇と範疇との間の関係を与えるものである．α, β, γ を範疇とするとき，到達可能性は以下のように定められる．

1. α は α に到達可能である．
2. α を右辺の左隅にもつ文法規則の左辺の範疇が β であるとき，α は β に到達可能である．
3. α が β に到達可能であり，かつ，β が γ に到達可能なら，α は γ に到達可能である．

直観的には，範疇 α が範疇 β に到達可能であるとは，α が β を構成する構文構造の左端に位置し得るということである．例えば，図 2.7に示した文脈自由文法において，範疇 adj が文 (範疇 s) を構成する構文構造の左端に位置することは可能であるが，範疇 v が位置することはない．よって，範疇 adj は範疇 s に到達可能であり，範疇 v は範疇 s に到達可能ではない．到達可能性は，**到達可能行列** (reachability matrix) として表現することができ，これは文脈自由文法の規則から自動的に獲得することができる [田中 1989]．図 2.7の文脈自由文法から作成される到達可能行列を表 2.2に示す．これは，1 であれば到達可能であることを，0 であれば到達可能でないことを表すものであり，例えば，3 行 1 列の 1 は np から s に到達可能であることを表し，2 行 1 列の 0 は vp から s に到達可能でないことを表す．到達可能性を考慮することにより，無駄な辞書引きや文法規則の適用を抑制することができるため，より効率的な解析処理が可能となる．

チャート法では，入力単語と文法規則を用いて入力文に対するチャートを順次作成するプロセスとして解析処理を行う．文法規則の適用方法により，上昇型プ

表 2.2: 図 2.7 の文脈自由文法に対する到達可能行列

	s	vp	np	v	adj	n
s	1	0	0	0	0	0
vp	0	1	0	0	0	0
np	1	0	1	0	0	0
v	0	1	0	1	0	0
adj	1	0	1	0	1	0
n	0	0	0	0	0	1

図 2.11: チャートの初期状態

ロセス，下降型プロセスのいずれの方法でも実現可能である．ただし本章で提案するチャート解析法は，上昇型と下降型を融合した手法である．

2.5.2 漸進的なチャート解析手法

チャート法では，部分的な表現に対してもその構文構造を活性弧として表現できるため，チャートを活用することは漸進的な解析処理において有効である．

解析処理では，漸進的なチャート法に従って英語単語が入力されるたびに処理を実行する．この手法は基本的には到達可能性を用いたチャート解析法 [田中 1989] をベースとしているが，以下の 3 つの特徴を備えている点が通常と異なっている．

- **特徴 1** 節点 0 と，それを始点及び終点とし項 $[?]_s$ をラベルとしてもつ活性弧とからなるグラフを初期状態とする．

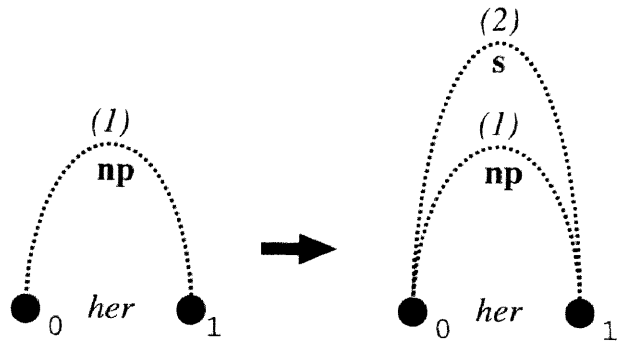
- **特徴 2** 活性弧に対して文法規則を適用し，新たな活性弧を作成する操作を

導入する．

- **特徴 3** 活性弧に付加した項の最左未決定項を，その右に隣接した活性弧の項で置き換える操作を導入する．

特徴 1 は，チャートの初期状態に関するものである．到達可能性に基づくチャート解析法では，通常，弧が一つもない状態から解析を開始するが，本章で提案するチャート法では，図 2.11に示すチャートを用いて解析を開始する．すなわち，語が入力されるごとに徐々に項 $[?]_s$ を詳細化していく過程として解析処理を実行する．特徴 2 の操作は，文法規則の適用に関する制限を緩めるためのものである．チャート法における文法規則の適用は，通常，不活性弧に対してのみ行われるが，本手法では活性弧に対してもまた適用可能とする．これにより，解析途中の段階で得られた構文構造をより詳細化することが可能となる．例えば，図 2.12の左側のチャートの中の項 (1) が付加された活性弧に対して，図 2.7の一番上の文法規則を用いることにより右側のチャートの中の項 (2) の活性弧を作成できる．また特徴 3 の操作は，特徴 2 と同様の目的のために導入したものである．活性弧の項の最左未決定項を不活性弧の項で置き換えるのが一般的ではあるが，ここでは活性弧の項 (すなわち，未決定項を含む項) で置き換えることもまた可能としている．例えば，図 2.13の左側のチャートの中の項 (1) が付加された活性弧とそれに隣接する項 (2) が付加された活性弧とから，(1) の最左未決定項を (2) で置き換えることにより，右側のチャートの中の項 (3) が付加された活性弧を作成することができる．これにより，より詳細化された構文構造を表す項 (3) を用いて変換処理を実行することが可能である．

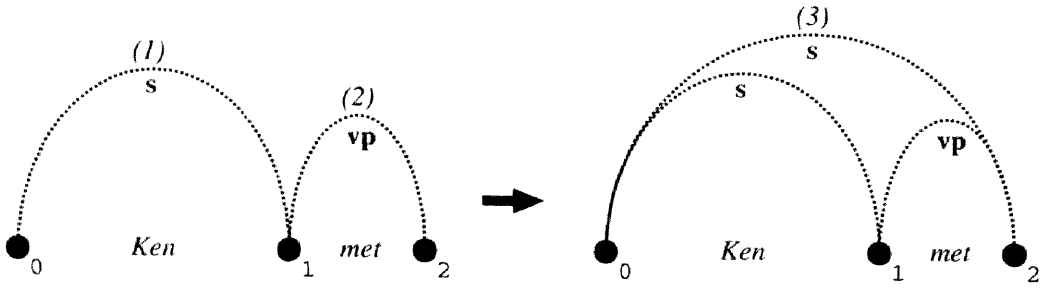
以上のような特徴により，漸進的なチャート法は上昇的な側面と下降的な側面を併せもった解析アルゴリズムとなっている．なぜなら，文法規則の適用は上昇的な解析処理に，置き換え操作は下降的な解析処理に相当するからである．またこの解析手法に従えば，変換処理可能な弧，すなわち，文法的に適格な長さ n の自



(1) $[[her]_{adj}[?]_{n}]_{np}$

(2) $[[[her]_{adj}[?]_{n}]_{np}[?]_{vp}]_{s}$

図 2.12: 文法規則の適用操作の例



(1) $[[Ken]_{np}[?]_{vp}]_{s}$

(2) $[[met]_{v}[?]_{np}]_{vp}$

(3) $[[Ken]_{np}[[met]_{v}[?]_{np}]_{vp}]_{s}$

図 2.13: 項の置き換え操作の例

然言語文 $w_1w_2\cdots w_n$ において語 w_i が入力されたとき，節点 0 と節点 i をそれぞれ始点と終点とする範疇 s の弧を，任意の i に対して少なくとも一つ作成することができる．

チャートは，漸進的解析の途中で導出されるすべての弧を表現するが，変換処理で活用されるものはその一部である．本研究では，変換処理で用いられる弧からなるチャートを**大域チャート** (global chart) と呼び，解析処理のみで用いられる弧からなる**局所チャート** (local chart) と区別する．言い換えると，局所チャートは辞書引き，あるいは文法規則の適用により作成された弧から構成され，大域チャートは項の置き換え操作によって作成された弧から構成される．よって大域チャートの弧は，単語が入力されたその時点までの構文構造を表す項をラベルとしてもち，その始点は必ず節点 0 である．また局所チャートの弧は必ず長さが 1 である．

漸進的チャート解析は，大域チャートの節点 0 と 0 を結ぶ項 $[?]_s$ をもつ弧を初期値として，単語が入力されるたびに弧を大域チャートに追加する．単語の入力に対して追加すべき弧が存在しなければ解析失敗である．k 番目の単語 w が入力されたときに行う 3 つの手続きを以下に示す．なお，記法 $\alpha \rightsquigarrow \sigma$ で範疇 α が項 σ の最左未決定項の範疇に到達可能であることを表す．

(手続き 1) 辞書引き　w の範疇 α が大域チャートの節点 0 と k-1 を結ぶ活性弧の項 σ に対して $\alpha \rightsquigarrow \sigma$ なら項 $[w]_\alpha$ の不活性弧を局所チャートの節点 k-1 と k の間に追加する．

(手続き 2) 解析規則の適用　局所チャートの節点 k-1 と k を結ぶ弧の項 ϕ の範疇を β_1 とする．このとき，大域チャートの節点 0 と k-1 を結ぶ活性弧の項 σ に対して $\beta \rightsquigarrow \sigma$ である規則 $\beta \rightarrow \beta_1\beta_2\cdots\beta_n$ が存在するならば，項 $[\phi[?]_{\beta_2}\cdots[?]_{\beta_n}]_\beta$ をもつ活性弧を局所チャートの節点 k-1 と k の間に追加する．この操作を適用可能な限り繰り返す．

(手続き 3) 項の置き換え　大域チャートの中の節点 0 と k-1 を結ぶ活性弧の項を σ とし，その最左未決定項を $[?]_\gamma$ とする．このとき，局所チャートの節点

k-1 と k を結ぶ弧の項 ϕ の範疇が γ なら，$[?]_\gamma$ を項 ϕ で置き換えた項をもつ弧を大域チャートの節点 0 と k の間に追加する．

活性弧に対しても規則を適用する操作は手続き 2 に，活性弧の項の中の未決定項を別の活性弧の項で置き換える操作は手続き 3 に導入されている．これにより，文法的に適格な入力文については，単語が入力されるたびにその時点までの入力に対する弧を少なくとも一つ導出することが可能となる．

2.5.3 漸進的チャート解析アルゴリズム

以下に漸進的チャート解析のアルゴリズムを示す．

入力： 語 w，大域チャートの弧の集合 G_chart

出力： 大域チャートの弧の集合 G_chart

記法の説明：

Cat: 範疇の集合

$lut(\phi)$: 活性弧 ϕ の最左未決定項

$\alpha \rightsquigarrow G_chart$: 範疇 α が G_chart の中の少なくとも一つの活性弧の最左未決定項の範疇に到達可能

手続き：

begin

$L_chart := \{\ \}$; (局所チャートの弧の集合 L_chart の初期化)

$temp := \{\ \}$;

step 1 辞書引き:

for each $\alpha \in Cat$

if $w = \alpha$ **and** $\alpha \rightsquigarrow G_chart$ **then**

$L_chart := L_chart \cup \{[w]_\alpha\}$;

step 2 解析規則の適用:

for each $\sigma \in L_chart$ **and** $\beta \rightarrow \beta_1\beta_2\cdots\beta_n \in Parsing_rules$

if $\sigma = \beta_1$ **and** $\beta \rightsquigarrow G_chart$ **then**

$L_chart := L_chart \cup \{[\sigma[?]_{\beta_2}\cdots[?]_{\beta_n}]_\beta\}$;

step 3 項の置き換え:

for each $\phi \in G_chart$ **and** $\psi \in L_chart$

if $\exists\gamma\ \gamma = lut(\phi) \wedge \gamma = \psi$ **then**

begin

$lut(\phi)$ を ψ で置換;

$temp := temp \cup \{\phi\}$;

end

$G_chart := temp$;

if $G_chart = \{\ \}$ **then**

error

else

end.

2.5.4 漸進的な解析処理の例

英語文 (2.14) に対する漸進的な解析過程を表 2.3に示す．チャートは表としても表現可能であり，各弧が表の一行に対応している．構成される局所チャートを図 2.14に，大域チャートを図 2.15に示す． # は弧の構成順序を， *loc* は弧が結ぶ節点を示す．語の入力に対して新たな弧が必ず大域チャートに追加されており，それらを随時活用することにより漸進的な変換処理を実現できる．なお，語 “met” に対しては弧 #(8) と #(9) が作成されるなど，各時点で変換処理対象となる弧が複数作成されるが，これについては変換モジュールで一つの弧を選択し，それに対してのみ変換処理を実行する．

表 2.3: (2.14) に対する漸進的なチャート解析過程

入力	局所チャート		
word	#	*loc*	*term*
Ken	(2)	0-1	$[Ken]_{np}$
	(3)	0-1	$[[Ken]_{np}[?]_{vp}]_s$
met	(5)	1-2	$[met]_v$
	(6)	1-2	$[[met]_v[?]_{np}]_{vp}$
	(7)	1-2	$[[met]_v[?]_{np}[?]_{pp}]_{vp}$
her	(10)	2-3	$[her]_{np}$
	(11)	2-3	$[her]_{adj}$
	(12)	2-3	$[[her]_{adj}[?]_n]_{np}$
aunt	(17)	3-4	$[aunt]_n$

入力	大域チャート		
word	#	*loc*	*term*
	(1)	0-0	$[?]_s$
Ken	(4)	0-1	$[[Ken]_{np}[?]_{vp}]_s$
met	(8)	0-2	$[[Ken]_{np}[[met]_v[?]_{np}]_{vp}]_s$
	(9)	0-2	$[[Ken]_{np}[[met]_v[?]_{np}[?]_{pp}]_{vp}]_s$
her	(13)	0-3	$[[Ken]_{np}[[met]_v[[her]_{np}]_{vp}]_s$
	(14)	0-3	$[[Ken]_{np}[[met]_v[[her]_{np}[?]_{pp}]_{vp}]_s$
	(15)	0-3	$[[Ken]_{np}[[met]_v[[her]_{adj}[?]_n]_{np}]_{vp}]_s$
	(16)	0-3	$[[Ken]_{np}[[met]_v[[her]_{adj}[?]_n]_{np}[?]_{pp}]_{vp}]_s$
aunt	(18)	0-4	$[[Ken]_{np}[[met]_v[[her]_{adj}[aunt]_n]_{np}]_{vp}]_s$
	(19)	0-4	$[[Ken]_{np}[[met]_v[[her]_{adj}[aunt]_n]_{np}[?]_{pp}]_{vp}]_s$

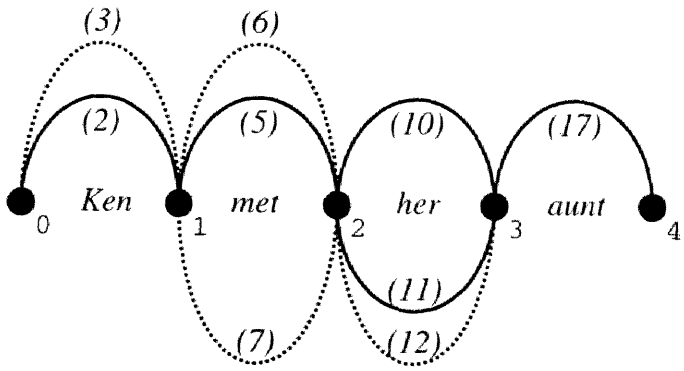


図 2.14: (2.14) に対する局所チャート

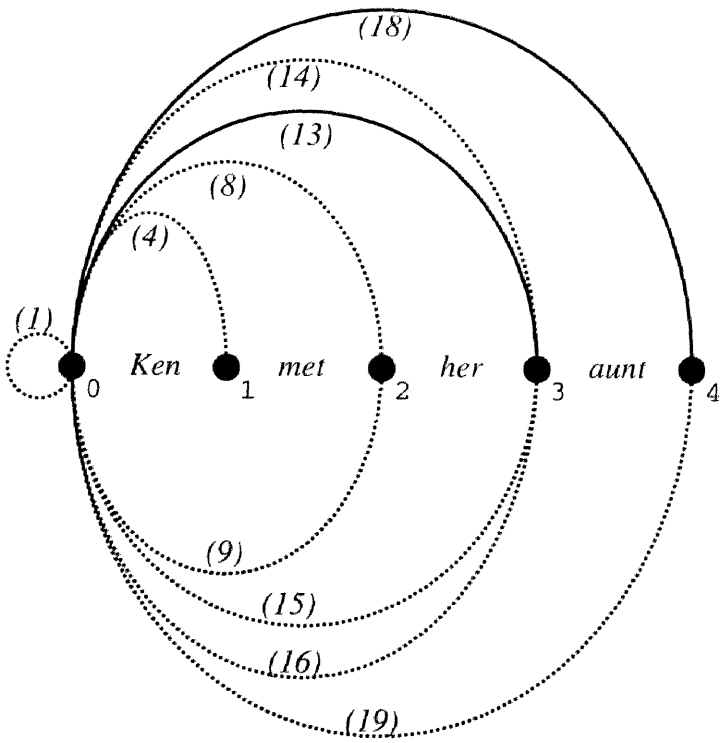


図 2.15: (2.14) に対する大域チャート

$$
\begin{array}{lcl}
s & \rightarrow & (np,\ 1,\ \text{は})\ \ (vp,\ 2,\ \text{nil}) \\
vp & \rightarrow & (v,\ 1,\ \text{nil})\ \ (np,\ 2,\ \text{に}) \\
np & \rightarrow & (adj,\ 1,\ \text{nil})\ \ (n,\ 2,\ \text{nil})
\end{array}
$$

図 2.16: 変換規則の例

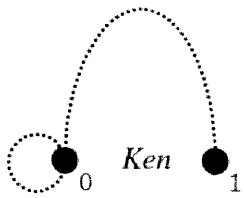
$$
\begin{array}{lcl}
np & \rightarrow & (\text{Ken},\ \text{ケン}) \\
v & \rightarrow & (\text{met},\ \text{会った}) \\
adj & \rightarrow & (\text{her},\ \text{彼女の}) \\
np & \rightarrow & (\text{her},\ \text{彼女}) \\
n & \rightarrow & (\text{aunt},\ \text{叔母})
\end{array}
$$

図 2.17: 変換用の辞書の例

2.6 漸進的な変換処理手法

2.6.1 変換処理の手続き

変換処理では，チャートの弧に付加された項に対して変換規則を下降的に順次適用することにより日本語表現を生成する．システムには一つの文法規則に対して一つの変換規則が存在するため，ある項に適用すべき変換規則について曖昧性が生じることはない．図 2.16に，図 2.7の文脈自由文法に対応する変換規則を記す．また図 2.17に，図 2.8の解析用辞書に対応する変換用の辞書を記述する． 変換規則は，文脈自由文法の各規則の右辺の各範疇に変換処理を実行する順番，及び補うべき助詞が付与されたものである．例えば，図 2.16の最初の変換規則は，範疇 np の項と範疇 vp の項とから構成された範疇 s の項に対する変換規則であり，まず np の項に対して変換処理を行い，助詞「は」を生成した後， vp の項に対して変換処理を実行することを示している．辞書は，英語単語に対してその日本語訳が付与されている．



(0) $[?]_s$

(1) $[[Ken]_{np}[?]_{vp}]_s$

図 2.18: 語 "Ken" が入力された時点での大域チャート

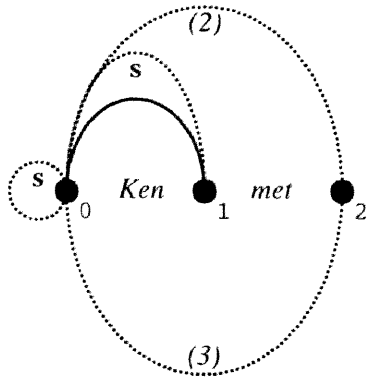
本節で提案する変換手法は，以下に挙げる 3 つの点で通常の変換処理方法と異なっている．

まず第一に，漸進的な変換処理の対象は多くの場合，活性弧に付加された項，すなわち，未決定項を含んだ項であるという点である．例えば，英語文

(2.15) Ken met her aunt in the park.

において，語 "Ken" が入力された時点での処理すべき項は図 2.18の項 (1) であり未決定項 $[?]_{vp}$ を含んでいる．一般に項の中の最左未決定項から右側の部分は未入力であるため，項の左から右への順で変換処理を実行し，変換すべき項が未決定項となった時点で処理を終了する．

第二に，解析処理では語が入力されるたびに段階的に英語入力文に対するチャートを作成するが，変換処理は随時実行されるため，一度変換された原言語部分に対してはもはや変換処理を実行する必要がないという点である．例えば，項 (1) に対する変換処理の結果「ケン」が生成される．次に，語 "met" が入力されると，例えば項 $[[Ken]_{np}[[met]_v[?]_{np}]_{vp}]_s$ が作成される． ここで通常の方法で変換処理を実行すると「ケンは会った．」となり，「ケン」の部分が前の生成結果と重複して出力されることになる．これを避けるために本手法では，変換規則がすでに適用された英語表現を記号 "!" で置き換える操作を導入した．これにより語 "met" に対



(2) $[[!]_{np}[[met]_v[?]_{np}]_{vp}]_s$

(3) $[[!]_{np}[[met]_v[?]_{np}[?]_{pp}]_{vp}]_s$

図 2.19: 語 "met" が入力された時点での大域チャート

する解析処理により作成される項は，例えば図 2.19の (2) のようになる．部分項 $[!]_{np}$ に対しては何も生成されないため，変換処理による出力結果は「会った．」となり，生成される目的言語表現が重複することがなくなる．

最後に，漸進的な英日変換処理では，英語発声と同期した日本語生成を実現するために，日本語翻訳結果に，前章で詳述した文法的不適格表現を活用する点である．英語と日本語とでは語の生起順序が大きく異なるため，翻訳処理の高度漸進性を維持することは難しい．(2.15) に対する標準的な日本語翻訳文は，

(2.16) ケンは公園で彼女の叔母に会った

であるが，"park" が入力された後でないと「公園で」以降を生成することができず，その結果，入力との同時進行性が損なわれる．このため本手法では，繰り返し，省略，語順の逆転などの非文法的表現を含んだ日本語文を話し言葉翻訳システムの翻訳結果として活用する．これらの表現は実際の日本語会話において頻繁に出現することから，たとえシステムがそのような表現を含む日本語音声を出力したとしても，ユーザはそれを容易に理解できると考えられる．システムは，(2.15) に対する翻訳結果として，

(2.17) ケンは会った 彼女の叔母に公園で会った

を生成する．(2.15) との各構成要素間の対応関係を考慮すると，日本語文 (2.17) を同期的に生成できることがわかる．すなわち (2.17) は，「会った」が繰り返されている，第 1 文における「会った」の対象が省略されている，「彼女の叔母」と「公園で」の生起順序が逆転している，の 3 点において (2.16) とは異なるものの，(2.15) の意味内容を正確に表現している．

以下に変換処理手続きを示す．

入力： 大域チャートの項 $term$

出力： 大域チャートの項 $term$

手続き：

procedure $Transfer(term)$

begin

if $term = [[t_1]_{\beta_1} \cdots [t_n]_{\beta_n}]_\beta$ **then**

$t_rule := \beta \rightarrow (\beta_1, N_1, P_1) \cdots (\beta_n, N_n, P_n) \in Transfer_rules;$

(適用する変換規則の抽出)

for $i := 1$ **to** n **do**

begin

if $N_j = i$ **then**

$sub_term := [t_j]_{\beta_j};$

if $t_j \neq$ "!" **then**

if $\exists \beta_j\ \beta_j \rightarrow (word, word') \in Dictionary$ **then**

if $t_j \neq word$ **then**

return $term$; (t_j はまだ未入力のため変換処理を行わない)

else

$print(word')$; (対訳の出力)

$term := [[t_1]_{\beta_1} \cdots [!]_{\beta_j} \cdots [t_n]_{\beta_n}]_{\beta}$;

(変換された語の記号 "!" への置き換え)

if $\beta_j = v$ **then** $repeat := word'$;

(繰り返すための語を格納)

if $p_j \neq nil$ **then** print(p_j); (助詞の出力)

if $\beta = s \wedge i = n$ **then** print($repeat$); (動詞の繰り返し)

else

begin

$transfer(sub_term)$;

if $t_1 =$ "!" **and** $\cdots$ **and** $t_n =$ "!" **then** $term := [!]_{\beta}$;

(変換された語の記号 "!" への置き換え)

if $p_j \neq nil$ **then** print(p_j); (助詞の出力)

if $\beta = s \wedge i = n$ **then** print($repeat$) (動詞の繰り返し)

end;

end;

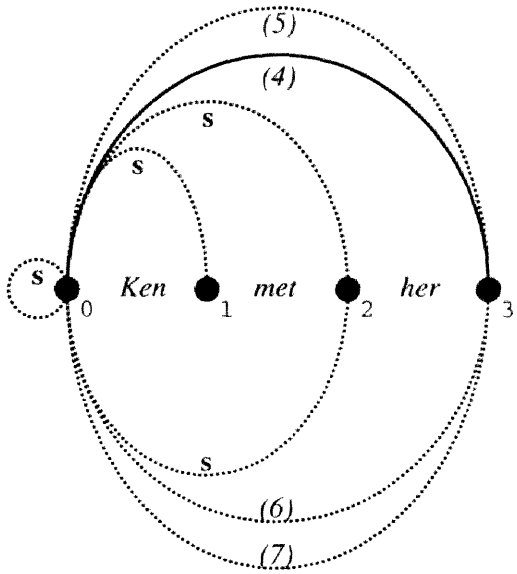
return $term$

end.

2.6.2 変換処理対象の選択

漸進的な話し言葉翻訳処理においても，一般の機械翻訳システムと同様，構造的に曖昧な入力文に対して作成される複数の構文構造から，どれを変換処理対象とすべかという問題が存在する．さらに漸進的処理の場合，構文構造の選択を入力途中でも行う必要があるため，それは一層困難な問題となる．例えば，英語文 (2.15) は 1 文としてみた場合，構造的曖昧性は存在しないとしても解析できるが，

(2.18) Ken met her



(4) $[[!]_{np}[[met]_v[her]_{np}]_{vp}]_s$

(5) $[[!]_{np}[[met]_v[[her]_{adj}[?]_n]_{np}]_{vp}]_s$

(6) $[[!]_{np}[[!]_v[her]_{np}[?]_{pp}]_{vp}]_s$

(7) $[[!]_{np}[[!]_v[[her]_{adj}[?]_n]_{np}[?]_{pp}]_{vp}]_s$

図 2.20: 語 “her” が入力された時点での大域チャート

が入力された段階では，図 2.20に示すようにそれぞれ変換処理可能な項 (4)-(7) が付加された 4 つの弧が作成される．このときシステムは，翻訳の即時性を満たすために，これらの中から敢えて一つの弧を選択し，それに付加された項に対して変換処理を実行する必要がある．ここで，項 (7) の弧が選択されれば問題は生じないが，項 (6) の弧が選択された場合，変換処理により「彼女に」が生成され，それまでに生成された日本語は，

(2.19) ケンは会った．彼女に

となる．次に，“aunt” が入力されると項 (6) が付加された弧を用いて新たな弧を作成することはできず，その結果，解析失敗となり同時に翻訳失敗でもある．2.4節で示したように，漸進的な解析処理を可能にするために通常のチャート法に対して新たな操作を導入したが，操作が増えたことにより当然作成される弧も増加するため，弧の選択の決定はさらに重要な問題となる．これに対する解決方法として，

- **方法 (1)** 正しい構文構造を表現している可能性が最も高い弧を選び出す方法
- **方法 (2)** 弧の選択を誤ることにより生成された間違った翻訳結果を訂正する方法

が考えられる．これに対して 2.3節では方法 (2) として，日本語会話文においてかなり頻繁に現れる言い直し表現を活用することにより正しい翻訳結果を作り出す手法を提案した．“her” が入力された段階で図 2.20の項 (6) の弧が選択され「彼女に」が生成されたとしても，それ以降の入力内容にしたがって「彼女に」を「彼女の叔母に」と言い直すことにより，

(2.20) ケンは会った 彼女に 彼女の叔母に公園で会った

となり，適切な翻訳結果を生成することができる．

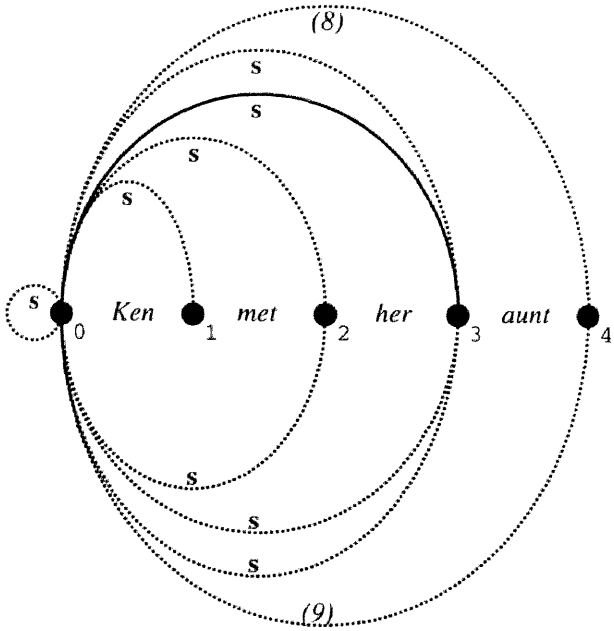
2.7 言い直しを活用した変換処理手法

2.5 節で述べたチャート解析法によれば，新たな語が入力されるたびに変換処理可能な弧を作成することができる．しかし，英語文の入力途中の段階では完全な構文構造を決定するための情報は当然ながら不足しており，またそれらを正確に予測することは困難であるため解析途中の段階で多くの弧が作成される．このことは，文を単位とする翻訳システムに比べ変換処理対象の選択肢の数が増大することを意味している．漸進的な話し言葉翻訳システムの場合，即時処理を指向している以上，複数の選択肢の中から敢えて一つを選び，それに対して変換処理を実行することが不可欠である．このため弧の選択を誤る場合があり，後にそれが判明するとそれ以上翻訳処理を続けることができない．

この問題に対して 2.3節では，たとえ誤った弧が選択された場合でも，それが判明した時点でそれまでに生成された日本語を正しく言い直すことにより，適切な翻訳結果を作り上げることを提案した．本節では，漸進的な英日変換処理において言い直しを実現する方法について述べる．本手法によれば語が入力されるたびに通常の変換処理を実行しさえすればよく，言い直しを実現するために特別な処理手続きを用いる必要はない [浅井ら 1997c]．すなわち，語が入力されるたびに作成される弧の中から一つを選択し，それに対して変換規則を適用することにより言い直しを生成することができる．また，自然な言い直しを行うために言い淀みを効果的に生成すること，ならびにその生成方法についても述べる．

2.7.1 言い直しの実現方法

自然言語文 $w_1 w_2 \cdots w_n$ において語 w_i が入力されたときに変換処理可能な弧は，語 w_{i-1} が入力されたときに変換処理可能であった弧，すなわち，節点 0 と節点 i-1 を結び範疇 s の項が付加された弧と節点 i-1 と節点 i を結ぶ弧を用いて作成される．例えば，英語文 (2.15) において語 “her” が入力された時点での変換処理可能



(8) $[[!]_{np}[[met]_v[[her]_{adj}[aunt]_n]_{np}]_{vp}]_s$

(9) $[[!]_{np}[[!]_v[[her]_{adj}[aunt]_n]_{np}[?]_{pp}]_{vp}]_s$

図 2.21: 語 "aunt" が入力された時点での大域チャート

な弧は図 2.20に示す (4)-(7) の項でラベル付けられた 4 つの弧であり，それらはいずれも図 2.19における項 (2) の弧または項 (3) の弧から作成される．

基本的には語 w_i が入力された時点で変換処理のために選択されるべき弧は，語 w_{i-1} の入力において選択された弧を用いて作成されている必要がある．もしそうでない弧を選択すると，語 w_{i-1} の入力時点と語 w_i の入力時点とでは異なった構文構造に対する変換結果が生成されることになり，その結果，一貫性のない日本語翻訳文が作り上げられることになるからである．このため本手法では，語 w_i が入力された時点での変換処理の対象となった弧を w_i における**対象弧**と呼び，それ以外の弧と区別する．すなわち，語 w_i における対象弧は語 w_{i-1} における対象弧を用いて作成される必要がある．例えば，語 "her" における対象弧が図 2.20における項 (7) の弧であるならば，語 "aunt" における対象弧は図 2.21における項 (9)

の弧である．なお，すべての語が未入力である時点における対象弧は図 2.18の項 (0) が付加された弧である．

ところで語 w_{i+1} の解析では語 w_i における対象弧を用いて新たな弧を作成するが，弧が複数個作成される，あるいは，一つも作成されない場合がある．

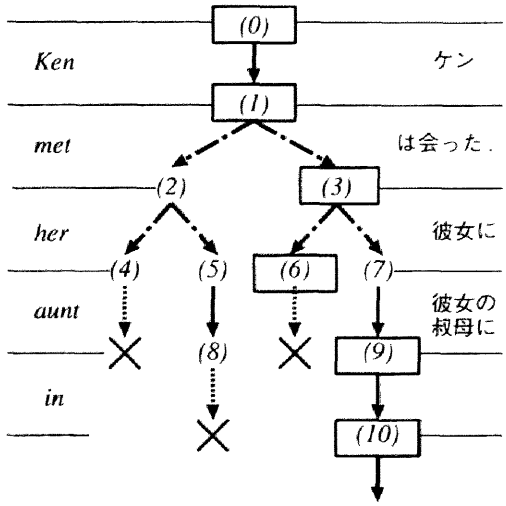
複数個作成された場合にはその中から一つの弧を選択し，それを対象弧とする必要がある．例えば，英語文 (2.15) の語 “met” における対象弧が図 2.19の項 (3) の弧であるならば，語 “her” における対象弧を図 2.20の項 (6) の弧と項 (7) の弧のいずれかから一つを選択する必要がある．この選択方法については，前節でも述べたようにそのための有効な戦略が重要となるが，本論文ではこれについては触れない．

一方，一つも作成されない場合，上述した方法で翻訳処理を続けることが不可能となる．これは，それまでに選択された対象弧が原言語文の正しい構文構造を表現していなかったことを意味しており，別の弧を選択する必要がある．例えば，図 2.20において語 “her” の対象弧として項 (6) の弧が選択されたとする．このとき，それまでに生成された翻訳結果は (2.19) となる．しかし，次に語 “aunt” が入力されたときに，項 (6) の弧を用いて新たに弧を作成することはできない．このため，項 (7) の弧を用いて作成された図 2.21の項 (9) の弧を語 “aunt” における対象弧として選択する．

さて，新たに選択された弧に対して，変換処理では通常通り変換規則を適用することにより処理を続行する．この例の場合，項 (9) に対する変換処理の結果，「彼女の叔母に」が生成される．この時点までに生成されている翻訳結果は

(2.21) ケンは会った　彼女に 彼女の叔母に

であり，適切な言い直しが行われることがわかる．その後に入力される表現 “in the park” に対しても，この対象弧を基に解析を進めることにより，最終的に (2.20) の日本語文を作り上げることができる．このように本手法を用いれば，特別な処



(10) $[[!]_{np}[[!]_{v}[[!]_{adj}[!]_{n}]_{np}[[in]_{p}[?]_{np}]_{pp}]_{vp}]_{s}$

図 2.22: 変換処理対象の更新

理手続きを用いることなく，対象弧に対して通常の変換処理を実行することにより，適切に言い直しを生成することができる．

これまでに説明した言い直しの生成例について，各入力に対する対象弧の移り変わりを図 2.22に示す．上から下への順序は時間的な順序を示しており，左側には入力された英語単語が，右側には出力された日本語が記されている．中央のグラフでは，矢印の始点の項を用いて終点の項が作成されたことを表している．また，四角で囲われた項は，各入力単語において対象弧に付加された項を示している．

この図から，語 “her” の時点で項 (3) を用いて項 (6) と (7) が作成され，(6) の弧が対象弧として選択されたものの，語 “aunt” の時点で解析に失敗したため (9) の弧が対象弧として選択されたことがわかる．項 (9) は，語 “met” の入力時点における対象弧の項 (3) から派生しているため，表現 “Ken” と “met” はすでに記号 “!” に置き換えられている．一方，語 “her” の時点での項 (7) は対象弧の項ではなかったため，英語表現 “her” は項 (9) の中に残されている．これにより「彼女の叔母に」という適切な言い直しが可能になっている．このように，記号 “!” での置き

換え操作により，すでに生成された日本語文と照合するなどといった処理を行うことなくシンプルな枠組のもとで適切な言い直し表現の生成を実現できる．

2.7.2 言い淀みの活用

前節までに，漸進的な話し言葉翻訳システムにおいて言い直しを活用することの効果とその実現方法について述べた．しかし，システムは単に正しい結果を生成しさえすればよいわけではなく，異なる言語を用いるユーザ間での円滑なコミュニケーションの推進に効果的な音声出力が求められる．そのためにシステムは，ただ単に言い直すだけでなく，例えば何らかの談話標識を発声することによりシステムによる言い直しの発声を聞き手に予測させることが考えられる．そのような標識として言い淀みがあり，これは話し手の行う何らかの心的操作を聞き手に示す役割を果たしている [田窪 1995]．実際，言い淀み「あのー」は，話し手が適切な言い回しを模索しているときに用いられる [定延 & 田窪 1995]．したがって，例えば言い淀み「あのー」を生成することにより，言い誤りにより遮断されかかった話し手と聞き手とのインタフェースを言い直しを開始するまで一時的に保持できる可能性がある．

(2.22) ケンは会った　彼女に　あのー 彼女の叔母に公園で会った．

システムは，上述したような言語学的知見，ならびに対話コーパスによる調査に基づき，言い淀みを効果的に活用した，より自然な言い直しを実現する．なお，言い淀みを生成するタイミングは，解析処理において対象弧から弧が一つも作成されなかった時点である．

2.8 翻訳実験

前節までに示した漸進的な英日機械翻訳システムの実現可能性とその有効性を確認するために実験システムを作成した．英語語彙 476 語，文法 204 規則の規模

表 2.4: 英語会話 278 文の翻訳正解率

タイプ	文数	割合
(A) 正しい翻訳 (言い直しを含まない)	96	34.5%
(B) 正しい翻訳 (言い直しを含む)	132	47.5%
(C) 不自然な翻訳	33	11.9%
(D) 誤った翻訳	16	5.7%
(E) 解析の失敗	1	0.4%

で GNU Common Lisp 2.2 を用いてワークステーション上に実現した．また，それぞれの文法規則に対応して変換規則を作成した．

作成したシステムを用いて翻訳精度に関する実験，及び翻訳処理時間に関する実験を行った．実験の対象として ATR 対話データベース [江原ら 1990] の旅行申込みをタスクとするバイリンガル電話対話の中の 4 対話について，そのすべての英語会話 278 文を用いた．これは 2.3節で述べた通訳文の調査のために用いた対話と同じものである．ただし，本研究は話し言葉の翻訳の実時間性を追求することを目的としているため，英語会話文に現れる言い淀み及び言い誤り表現についてはあらかじめ削除し，文法的に正しい入力を翻訳処理の対象とした．対話文の平均の語の長さは 6.8 語であった．

2.8.1 翻訳正解率の実験

作成した実験システムの話し言葉に対する翻訳精度を評価するために，翻訳正解率を調べた．翻訳に用いた英語会話文をその翻訳結果の了解性に従って分類した．表 2.4に示すように，(A) または (B) に分類された 228 文が正解であり，82.0% の翻訳正解率を得た (正しい翻訳結果の一部を付録 (A) に示す)．これにより，本論文で提案した方法が話し言葉に対する翻訳手法として利用可能であることを確認することができた．

表 2.5: 翻訳誤り (タイプ (C),(D),(E)) の原因

原因	文数	割合
言い直しの出現の過多	33	11.9%
構造的曖昧性	8	2.9%
語彙的曖昧性	3	1.1%
慣用句	3	1.1%
不適格性	1	0.4%
音便変化	1	0.4%
解析失敗	1	0.4%

翻訳誤りの原因を表 2.5に示す (誤った翻訳結果の一部を付録 (B) に示す). 多くは，言い直しをあまりに多く生成したために，不自然な翻訳結果が得られたことによるものである．これについては，次節で詳述する．慣用句については，翻訳を構成的に作り上げることができないため，それを漸進的に翻訳することは困難であるが，頻度が少なく全体の精度にはそれほど影響しない．それ以外の原因はすべて，通常の文単位での機械翻訳でも問題となるものである．よって，これらの問題に対しては，これまで提案された解決法が本手法においても有効であると思われる．

2.8.2 翻訳処理時間の実験

実験システムの実時間性を評価するために，翻訳処理時間を測定した．時間計測は，SparcCenter 1000(SuperSPARC 50MHz) 上で，端末として XMINT CSL を用いて行った．入力された英語一単語に対する翻訳処理時間，解析処理時間，及び変換処理時間の平均を表 2.6に示す． 翻訳処理時間 47 msec は，一単語の発話時間より少なく，本手法が効率的な話し言葉翻訳にとって有効であることがわかる．

表 2.6: 一単語に対する翻訳処理時間

項目	平均時間
翻訳処理時間	47 msec
解析処理時間	44 msec
変換処理時間	1 msec

実験の結果から，翻訳処理に要する時間のほとんどを解析処理時間が占めていることがわかる．これは，変換処理が複数の弧からただ一つを選択し変換を実行するのに対して，解析処理では，形成したすべての文構造に対して，入力された英単語をもとに新たな文構造を形成する必要があるためである．ここで述べた翻訳実験では，文法規則がそれほど多くなかったため翻訳処理時間の問題は生じなかったが，今後，大規模な話し言葉翻訳システムの実現に際しては，漸進的な解析のための効率的な手法を開発する必要がある．

2.9 言い直しの活用について

本研究では，生成した翻訳結果が言い誤りとなった場合，誤った部分を言い直すことにより正しい翻訳結果を作り上げるという手法を用いた．日本語話し言葉の解析における言い直しを処理する手法として，これまでいくつかの研究が行われているものの [伝 1997, Sagawa et al. 1994]，話し言葉の翻訳のために言い直しを活用して日本語翻訳文を作り上げる研究はこれまでなされていない．本節では，前節で示したプロトタイプシステムによる翻訳実験の結果をもとに，話し言葉の翻訳において言い直しを活用することについて考察する．

表 2.4に示すように，言い直しを含んだ正しい翻訳結果が得られた英語文は 132 文であり，全体の 47.5% を占めている．これは，言い直しを活用することにより，34.5% から 82.0% に翻訳精度が著しく向上したことを意味しており，漸進的な翻

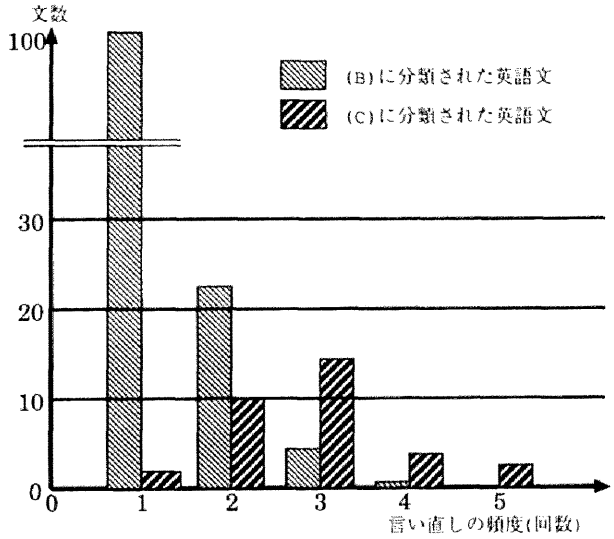


図 2.23: 言い直しの頻度と翻訳精度の関係

訳手法において言い直しの活用が有効であることがわかった.

一方, 表 2.4の (C) に分類された英語文はすべて, その翻訳結果があまりに多くの言い直しを含むために不自然とみなされたものである. (B) 及び (C) に分類された英語会話文について, 言い直しの回数と翻訳精度との関係を図 2.23に示す. この図から, 言い直しの回数が増えるほど翻訳結果が不自然になりやすいという傾向がわかる. 本手法では, 選択された候補が, 解析の途中で誤りであると判明したときに言い直しが生じる. 図 2.24が示すように, 一般に入力文が長くなると言い直しの回数が増加するが, これは長い文ほど多くの文構造が生成され, 選択を誤る可能性が高くなるためである. より精度の高い翻訳処理を実行するために言い直しの回数を減らす必要があるが, そのために,

(1) 解析の途中で逐次生成される文構造の数をできる限り少なくする.

(2) 複数の解析候補の中から最も確からしい候補を選択するための手法を導入する.

(3) 候補の選択をできる限り語単位で実行するという制約を緩め, 翻訳処理を遅

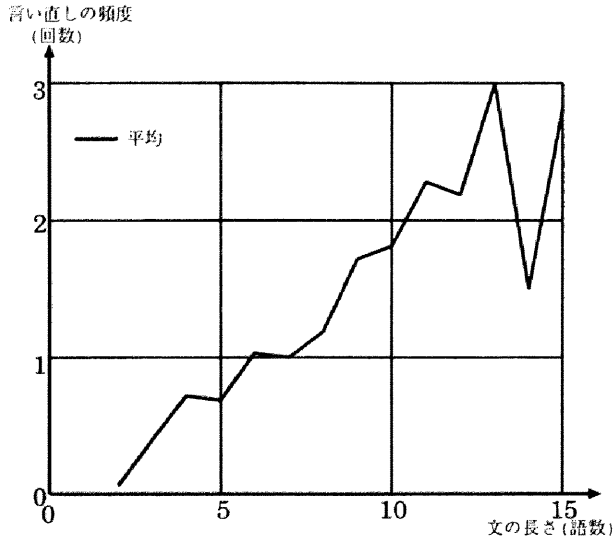


図 2.24: 入力文の長さと言い直しの回数の関係

延することにより，より正確な選択を行えるようにする．

などが考えられる．(1) に対しては，意味的な情報の活用により可能な候補を絞り込むことが有効であり，漸進的な曖昧性解消法 [Haddock 1989, 奥村 1995] を利用することができる．また (2) に対しては，対訳用例を参照したり，統計的な情報を活用することが考えられる．(3) については，処理をどれくらい遅延すればよいのかを決める必要があるが，翻訳の即時性と翻訳の精度との間のトレードオフがあり，大規模な実験による検証が求められる．

2.10 おわりに

本章では，文法的不適格表現を含む発話を生成する漸進的な英日話し言葉翻訳手法を提案した．互いに語順の異なる英語文から日本語文への翻訳において，翻訳結果として繰り返し，語順の逆転，省略，言い誤り，言い直し，言い淀みを含んだ発話を容認することにより，意味内容の通じる程度の品質をもつ翻訳文を漸進的に作り出すことができる．

また本章では，漸進的な英日話し言葉翻訳システムの実現手法を示した．本システムは漸進的なチャート解析とチャートを用いた変換処理から構成されており，それらが入力に対して同時進行的に働く．漸進的なチャート解析処理の途中で，変換処理の対象となる弧が複数生成されたときに，それらの中から誤った弧を選択すると翻訳に失敗するという問題に対して，言い直しを活用することにより正しい翻訳結果を作り上げることができる．本章では，そのような言い直しを実現する方法について述べた．また，自然な言い直しを実現する方法についても検討した．実験システムを用いた翻訳実験により本手法の有効性を確認した．漸進的な翻訳では，文の解析途中で生成される膨大な曖昧性のために，誤った翻訳結果を生成する可能性が必然的に高くなるが，言い直しを効果的に活用することにより，ある程度の翻訳精度を維持できることがわかった．また，ユーザによる実際の発話時間に対して無視できる程度の処理時間で翻訳結果を得ることが確認できた．

第 3 章

漸進的なマルチモーダル音声対話処理システム

3.1 はじめに

本章では，マルチモーダル漸進的解釈モデルを提案する．このモデルは，マルチモーダル入力処理プロセス，漸進的解釈プロセス，出力処理プロセスから構成され，それらが入力と同時進行的に働く．漸進的解釈プロセスは，音声入力された単語，あるいはポインティングジェスチャやキータイプなどの入力手段による情報を即座に解析する．システムはユーザによる入力途中でも随時，適切な応答を生成することが可能であり，従来のマルチモーダル対話システム [Ando et al. 1994, 島津 & 高島 1994] を用いた場合に比べ，人と計算機とのより密度の高い効率的な対話を実現できる．また，ユーザはシステムによる応答を逐次確認しながら操作することが可能であり，システムがユーザの意図に反して処理を実行した場合でも即座に訂正したり再入力を行うなど，より頑健性の高い対話が可能となる．

また本章では，本モデルの実験システムである日本語音声とマウスポインティングを入力とするマルチモーダル描画エディタ Sync/Draw について説明する．Sync/Draw の漸進的解釈プロセスは書換え規則の適用操作をベースとしており，単語，あるいは，ポインティングが入力されるたびにオブジェクトとよばれる意味構造を更新することにより随時，描画処理可能な解釈結果を作成する．単語の

生起順序の逆転や指示対象の同定などの言語的現象に柔軟に対処できるともに，図形の移動や削除，入力の取り消しに対しても適切に応答することができる．

3.2 マルチモーダル漸進的解釈モデル

本節では，マルチモーダル漸進的解釈モデルを説明する．

3.2.1 話し言葉処理プロセス間の関係

ここでは，マルチモーダル音声対話という観点から従来の話し言葉処理モデルについて考察する．

話し言葉処理のための必要なプロセスとして音声認識などの入力処理，解釈処理，出力処理があり，その組合せとしてオフラインモデルとオンラインモデルが考えられる [中野ら 1995]．オフラインモデルは，まず自然言語文が完全に音声入力されたあと，それを入力処理し，その結果に対して解釈処理し，さらにその結果に対して出力処理を行う．オンラインモデルでは，音声入力に対してすべてのプロセスが同時進行的に働き随時，出力結果を生成する．これらのモデルには互いに長所と短所があり，どちらのモデルが望ましいかは一概にはいえず，その選択は実際にどのようなシステムに応用されるかに依存する．

マルチモーダル音声対話の観点からみると，システムは複数の入力手段を同期的に解釈する必要があり，しかも音声以外の入力に対して即時的な反応が求められる場合にはオフライン型モデルは適当ではない．自然言語文の入力が終らないとその解釈を開始することができず，その発声途中で入力された情報に対して即座に同期をとることができないためである．それに対してオンライン解析モデルでは，音声入力に対しても同時進行的に解釈を実行するため，他の入力手段から得られた情報の即時的な処理が可能であり即座に応答を生成できる．

3.2.2 人間の理解過程における漸進性

マルチモーダル漸進的解釈モデルは人間の情報処理プロセスをヒントにしている．

人間同士の会話では，音声はもちろんのこと，身振りや表情，視線などを交えて情報を発信する．それに対して聞き手は，発声内容とそれ以外の手段によるノンバーバルな情報の内容とを総合的に解釈しながら話し手の意図を理解する．例えば，書棚の中の本を指し示しながら「この本」と発声すれば，話し手がその本に関して言及していることを聞き手はそれが発声された時点で理解する．また同じような状況でも，本が複数冊あり話し手が指し示している対象が曖昧であれば，聞き手は「えっ，どの本のこと？」などといった問い返しによる割り込みを，「この本」が発声された直後に行うことができ，より対話性の高い会話も可能となる．さらに，話し手が冴えない表情で「この本」と発声すれば，その本に対して良い印象を抱いていない可能性が高く，聞き手はその後に発声される内容についてある程度予測することができ，それに対して柔軟に対応できる可能性も高くなる．

一般に，人間は音声を漸進的に認識し，解釈し，応答する．このため，他のモダリティによる入力に対しても，音声との同期処理により瞬時に意図を理解することができる．このような情報処理機構を備えていることにより，人間は自然で滑らかな会話を実現していると考えられる．

3.2.3 マルチモーダル漸進的解釈モデルの概要

上述した人間の情報処理メカニズムをヒントに本節では，マルチモーダル漸進的解釈モデルを提案する．

図 3.1にマルチモーダル漸進的解釈モデルを示す． このモデルの特徴は次の通りである．

- システムは，ユーザによる音声言語入力を漸進的に解釈する．

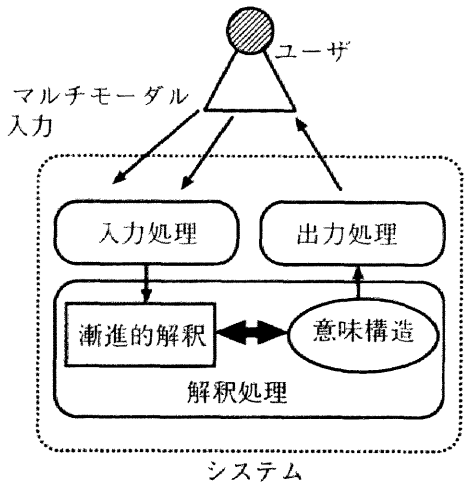


図 3.1: マルチモーダル漸進的解釈モデル

- システムは，音声, ポインティング, キーボード, ジェスチャなどの入力の解析結果を一つの意味構造を用いて表す.
- 意味構造は出力情報に変換される.

通常の文単位で処理するモデルとの違いを明らかにするために，処理のタイミングの比較を図 3.2に示す．マルチモーダル漸進的解釈モデルでは，音声認識や位置認識などの入力プロセス，統語処理や意味処理を行う漸進的解釈プロセス，および，話し手に応答を返す出力処理プロセスが同時進行的に働き，適宜，出力結果を生成する (図 3.2(b))．例えば, 音声言語文入力に対してもできる限り語単位で出現順に解釈し, 処理結果を逐次フィードバックする．さらに, 図 3.2からもわかるように, 漸進的解釈に基づくインタフェースでは, ユーザの発話 (すなわち, 入力) とシステムの発話 (出力) がほぼ同時進行的に行われる．これは, 人間と計算機との親密なインタラクションの方式を提示している.

マルチモーダル対話システムにおいて漸進的解釈を基本とすることの利点は以下の通りである.

- ユーザは出力結果を逐次確認しながら操作することができるため, システム

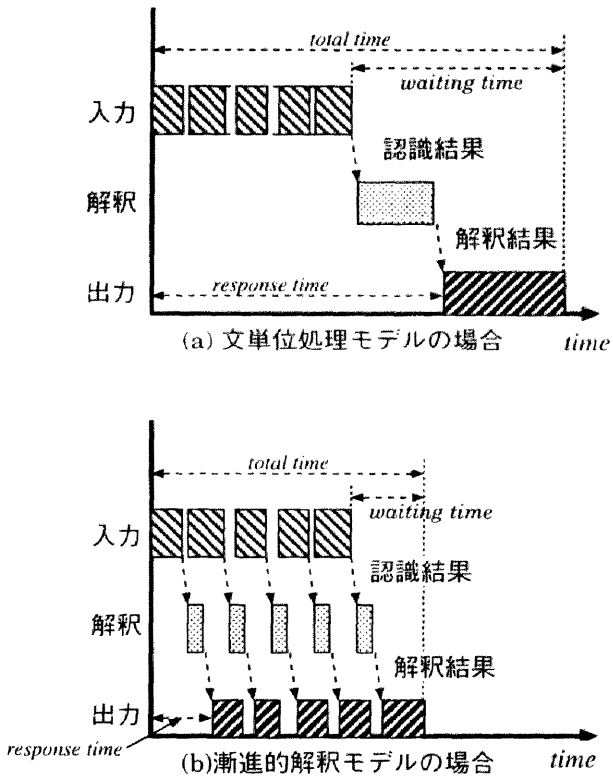


図 3.2: 文単位処理モデルと漸進的解釈モデルの比較

の認識状態に関して不安なく作業を進めることができる.

- システムがユーザの意図に反して処理を実行した場合でも, ユーザは即座にそれを訂正することができ, 効率的に操作できる.
- ユーザの出力待ち時間が削減されるため, 計算機との間で円滑に対話が進められる.

3.3 マルチモーダル描画エディタ

Sync/Draw は，描画処理を対話タスクとするマルチモーダル漸進的解釈モデルの実験システムである．タスクとして描画処理を採用したのは,

- ユーザの操作内容は，描画や移動，削除，取り消しなどに制限される.
- 操作の対象が線や円，及び多角形などに制限される.
- ユーザとシステムとの間に高いインタラクティビティが存在する.

などの理由による．最初の 2 つの理由によりシステムの設計を比較的シンプルにすることができ，最後の理由により本モデルの有用性が高く現れることが予想され，システムの評価が容易になる． Sync/Draw は最初のステップとして，日本語音声とマウスポインティングを入力手段として用いており， C 言語を用いて UNIX ワークステーション上に実装されている． GUI ライブラリには， Xlib， Athena ウィジェットを用いた．なお，プログラムサイズは 3000 行程である.

3.3.1 システムの概要

Sync/Draw の基本構成を図 3.3に示す． Sync/Draw は，次の 3 つのプロセスから構成されている．音声認識，及び，位置認識を行う入力処理プロセス，入力に対応する書換え規則を取りだし，それに基づき新たなオブジェクトを順次作成す

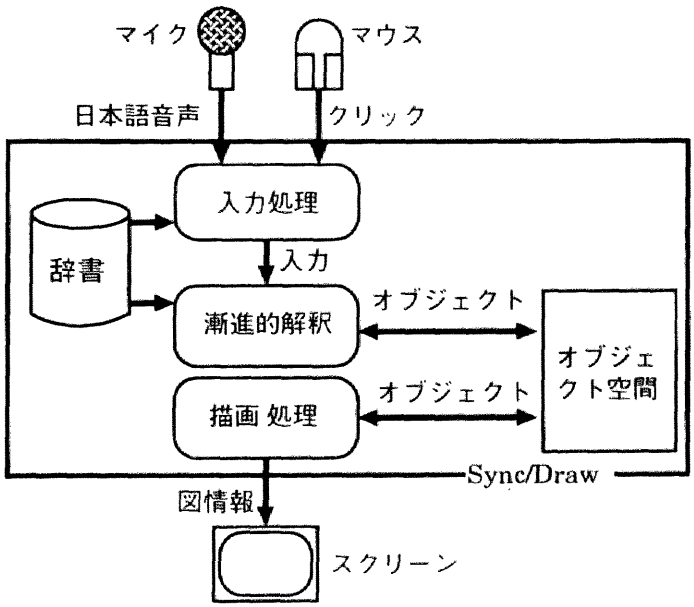


図 3.3: Sync/Draw の構成

る漸進的解釈プロセス，得られたオブジェクトをスクリーン上に図として反映する描画プロセスである．システムはこれらのプロセスを，日本語単語，あるいは座標情報が入力されるたびに上述した順に実行し，図を作成する．音声認識として松下電器製の DP マッチングに基づく単語認識システムを使用している． システムは単語あるいはポインティング情報が入力されるたびにそれに対応する書換え規則を用いて，オブジェクト空間を逐次更新しながら作図処理を進める．複数の入力モダリティの情報をオブジェクトと呼ぶ統一的な枠組で表現することにより，システムの見通しのよさを高めている．

本節の以下では，オブジェクトならびにオブジェクト空間について説明し，その更新操作について述べる．

3.3.2 オブジェクトとオブジェクト空間

Sync/Draw への音声，ポインティングによる入力は，図形の作成，あるいは，作成された図形への操作を意図するものである．Sync/Draw では入力を漸進的に解釈するため，途中までの入力の意味を随時表現する必要がある．本章では，入力途中の意味を表現するための枠組としてオブジェクトと呼ばれる表現形式を提案する．

オブジェクト (object) は，定数か，あるいは，属性 $attr$ とオブジェクトのリスト $olist$ の対 $attr : olist$ である．ここで**属性** (attribute) とは，オブジェクトに関する性質を示しており，$draw, obj, line, from, point, x$ などがある．以下では，オブジェクト $\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_n$ のリストを $[\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_n]$ と表記する．また，$attr : [\beta_1, \beta_2, ..., \beta_n]$ の形式のオブジェクト α に対して，$Attr(\alpha)$ でその属性 $attr$ を，$Member(\alpha)$ で集合 $\{\beta_1, \beta_2, ..., \beta_n\}$ を表わすものとする．簡単のため，オブジェクトリストが唯一の要素からなるオブジェクト $attr : [\beta]$ を単に $attr : \beta$ と表記する．オブジェクトは次のような形式で表される．

$$Point : \begin{bmatrix} X : & 65 \\ Y : & 40 \end{bmatrix}$$

これは，座標 (65,40) に位置する点を表すオブジェクトであり，属性 $Point$ とオブジェクトリスト $[X : 65, Y : 40]$ とから構成されたオブジェクトを示す．なお，ユーザにより行われたすべての入力の意味を表す特別なオブジェクトを**オブジェクト空間** (object space) と呼び，それを $ObjSpace$ で表わす．オブジェクト空間のオブジェクトリストの要素は，画面上の図形にそれぞれ対応する．

また，属性に対して図 3.4に示すような関係を定める．これは，あるオブジェクトがある別のオブジェクトのオブジェクトリストの要素となり得るかどうかに関する制約を与えるものである．例えば，属性が $Line$ であるオブジェクトのオブジェクトリストの要素は，属性が $Start$ あるいは End であるオブジェクトでなければならない．オブジェクトを構成するすべての属性が，属性間の関係を満たしてい

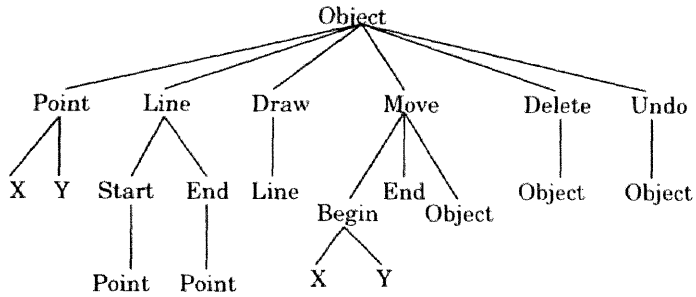


図 3.4: 属性間の関係 (一部)

るとき，そのオブジェクトを**健全** (sound) であるという．Sync/Draw の解釈部は随時，健全なオブジェクト空間を作り上げる．

3.3.3 オブジェクト空間の更新

解釈部では，辞書から獲得した書換え規則に基づきオブジェクト空間を更新する．書換え規則には，$\Rightarrow \beta$ と $\alpha \Rightarrow \beta$ の 2 種類のタイプがある (α, β はオブジェクト)．名詞などの単語には前者のタイプの書換え規則が対応しており，動詞や助詞などには後者が対応している．

次のようにオブジェクト空間の書換え手続きをそれぞれ定義する．なお以下では，オブジェクト α, β, γ に対して，$Attr(\alpha) = Attr(\beta), Member(\alpha) = Member(\beta) \cup \{\gamma\}$ を満たすとき，α を $\beta \triangleleft \gamma$ と表記する．直観的には，α は β の中のオブジェクトリストに γ を追加したオブジェクトであることを意味する．また，β を $\beta \triangleleft \gamma$ に書換えることを "add γ into β"，$\beta \triangleleft \gamma (=\alpha)$ を β に書き換えることを "remove γ from α" と表記する．

(1) **書換え規則 $\Rightarrow \beta$ に対する手続き** (オブジェクトの追加)

begin

for each $\gamma \in Member(ObjSpace)$

if $\beta \triangleleft \gamma$ が健全 **then**

add γ into β;

remove γ from $ObjSpace$;

add β into $ObjSpace$

end.

もう一方の書換え規則に対する手続きを示す前に代入を定める．代入 $\theta(=\phi \rightarrow \psi)$ は，あるオブジェクト内に出現する特別なオブジェクトであるオブジェクト変数 ϕ の出現を，別のオブジェクト ψ に置き変える操作である．以下では，オブジェクト α に代入 θ を適用した結果を $\alpha\theta$ と表記する．

(2) **書換え規則 $\alpha \Rightarrow \beta$ に対する手続き** (オブジェクトの変更)

begin

if $\exists\theta$ $\alpha\theta \in Member(ObjSpace) \wedge \beta\theta$ が健全 **then**

remove $\alpha\theta$ from $ObjSpace$;

if $\exists\gamma \in Member(ObjSpace) \wedge \gamma \triangleleft \beta\theta$ が健全 **then**

remove γ from $ObjSpace$;

add $\gamma \triangleleft \beta\theta$ into $ObjSpace$;

else

add $\beta\theta$ into $ObjSpace$

end.

なお，これらの手続きでは，オブジェクト空間の要素 $Member(ObjSpace)$ の中から適当なオブジェクトを探すときはそのリストの先頭から探し，オブジェクト空間にオブジェクトを加えるときはリストの先頭に加えるものとする．

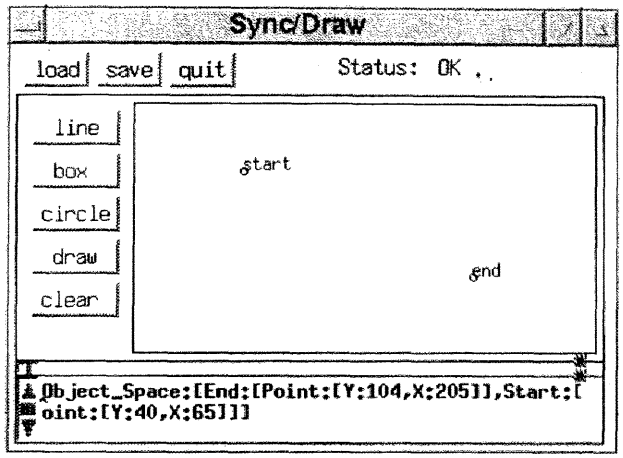


図 3.5: (3.1) の「まで」が入力された時点の実行画面

3.4 実行例

Sync/Draw の実行例を以下に示す．なお以下では，記法 $\nabla_{(x,y)}$ で座標 (x, y) へのポインティング入力を示す．

3.4.1 線の描画

次に示す (3.1) は，始点と終点を指定しその間に線を描画する操作例である．

(3.1) $\nabla_{(65,40)}$ ここから $\nabla_{(205,104)}$ ここまで線を引く

各入力に対して得られる書換え規則，書き換えられたオブジェクト空間，作図された結果を表 3.1に示す．表 3.1から，音声ならびにポインティングによる操作が作図結果として逐次フィードバックされることがわかる．(3.1) の「まで」が入力された状態における Sync/Draw による実行結果を図 3.5に示す． 次の例は (3.1) と同じ操作内容であるが，その生起順序が違っている．

(3.2) 線を $\nabla_{(65,38)}$ ここから $\nabla_{(198,106)}$ ここまで引く

Sync/Draw では，入力順に従った描画処理を実行するため，(3.1) の場合とは異なる作図プロセスを経る．各入力に対して得られる書換え規則，書き換えられたオ

表 3.1: (3.1) に対する描画プロセス

入力	書換え規則	オブジェクト空間のオブジェクトリスト	スクリーン
$\nabla_{(65,40)}$	$\Rightarrow X:65,$ $\Rightarrow Y:40$	$X:65,\ Y:40$	
ここ	$\Rightarrow Point:[\,]$	$Point:\begin{bmatrix} X:65 \\ Y:40 \end{bmatrix}$	
から	$\phi \Rightarrow Start:[\phi]$	$Start:Point:\begin{bmatrix} X:65 \\ Y:40 \end{bmatrix}$	start
$\nabla_{(205,104)}$	$\Rightarrow X:205,$ $\Rightarrow Y:104$	$X:205, Y:104, Start:Point:\begin{bmatrix} X:65 \\ Y:40 \end{bmatrix}$	start
ここ	$\Rightarrow Point:[\,]$	$Point:\begin{bmatrix} X:205 \\ Y:104 \end{bmatrix}, Start:Point:\begin{bmatrix} X:65 \\ Y:40 \end{bmatrix}$	start
まで	$\phi \Rightarrow End:[\phi]$	$Start:Point:\begin{bmatrix} X:65 \\ Y:40 \end{bmatrix}$ $End:Point:\begin{bmatrix} X:205 \\ Y:104 \end{bmatrix}$	start end
線	$\Rightarrow Line:[\,]$	$Line:\begin{bmatrix} Start:Point:\begin{bmatrix} X:65 \\ Y:40 \end{bmatrix} \\ End:Point:\begin{bmatrix} X:205 \\ Y:104 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$	start end
を	$\phi \Rightarrow Object:[\phi]$	$Object:Line:\begin{bmatrix} Start:Point:\begin{bmatrix} X:65 \\ Y:40 \end{bmatrix} \\ End:Point:\begin{bmatrix} X:205 \\ Y:104 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$	
引く	$Object:[\phi] \Rightarrow$ $Draw:[\phi]$	$Draw:Line:\begin{bmatrix} Start:Point:\begin{bmatrix} X:65 \\ Y:40 \end{bmatrix} \\ End:Point:\begin{bmatrix} X:205 \\ Y:104 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$	

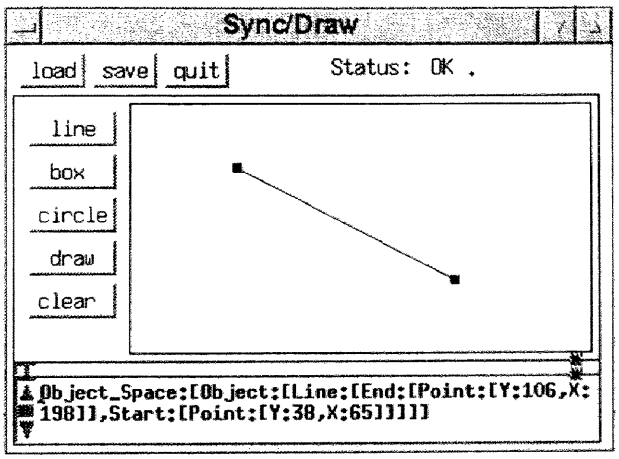


図 3.6: (3.2) の「まで」が入力された時点の実行画面

ブジェクト空間，作図された結果を表 3.2に示す． (3.2) の「まで」が入力された状態における実行結果は図 3.6のようになる． Sync/Draw における処理手順は，ユーザの操作手順に依存している．これはユーザによる自由度の高い作図操作を可能にしている．

3.4.2 図形の移動

次の (3.3) は，すでに描かれている線を指示し，それを指定した点まで移動する操作例である．

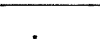
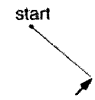
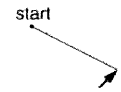
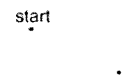
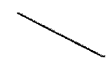
(3.3) $\nabla_{(143,70)}$ これを $\nabla_{(85,110)}$ ここまで動かす．

「これ」などの指示語に対しては，ポインティング情報を考慮して適切なオブジェクトを選択する．また，「動かす」の書換え規則は，

$$\Rightarrow Move : [\,]$$

である． Sync/Draw は，ユーザによる入力をすべてオブジェクト空間で表現するため，描き直された後の状態だけでなく，どのオブジェクトがどのように描き直

表 3.2: (3.2) に対する描画プロセス

入力	書換え規則	オブジェクト空間のオブジェクトリスト	スクリーン
線	$\Rightarrow Line : [\,]$	$Line : [\,]$	
を	$\phi \Rightarrow Object : [\phi]$	$Object : Line : [\,]$	
$\nabla_{(65,38)}$	$\Rightarrow X : 65,$ $\Rightarrow Y : 38$	$X : 65,\ Y : 38,\ Object : Line : [\,]$	
ここ	$\Rightarrow Point : [\,]$	$Point : \begin{bmatrix} X : 65 \\ Y : 38 \end{bmatrix}, Object : Line : [\,]$	
から	$\phi \Rightarrow Start : [\phi]$	$Object : Line : Start : Point : \begin{bmatrix} X : 65 \\ Y : 38 \end{bmatrix}$	
$\nabla_{(198,106)}$	$\Rightarrow X : 198,$ $\Rightarrow Y : 106$	$X : 198, Y : 106$ $Object : Line : Start : Point : \begin{bmatrix} X : 65 \\ Y : 38 \end{bmatrix}$	
ここ	$\Rightarrow Point : [\,]$	$Point : \begin{bmatrix} X : 198 \\ Y : 106 \end{bmatrix}$ $Object : Line : Start : Point : \begin{bmatrix} X : 65 \\ Y : 38 \end{bmatrix}$	
まで	$\phi \Rightarrow End : [\phi]$	$Object : Line : \begin{bmatrix} Start : Point : \begin{bmatrix} X : 65 \\ Y : 38 \end{bmatrix} \\ End : Point : \begin{bmatrix} X : 198 \\ Y : 106 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$	
引く	$Object : [\phi] \Rightarrow$ $Draw : [\phi]$	$Draw : Line : \begin{bmatrix} Start : Point : \begin{bmatrix} X : 65 \\ Y : 38 \end{bmatrix} \\ End : Point : \begin{bmatrix} X : 198 \\ Y : 106 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$	

されたのかという情報までが記録される．移動した線に対するオブジェクトを以下に示す．

$$Move : \begin{bmatrix} Begin : \begin{bmatrix} X : 143 \\ Y : 70 \end{bmatrix} \\ End : Point : \begin{bmatrix} X : 85 \\ Y : 110 \end{bmatrix} \\ Object : Draw : Line : \begin{bmatrix} Start : Point : \begin{bmatrix} X : 65 \\ Y : 40 \end{bmatrix} \\ End : Point : \begin{bmatrix} X : 205 \\ Y : 104 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

3.4.3 操作の取り消し

(3.4) は，移動した線をもとの位置に戻す操作例である．

(3.4) 今のを取り消す．

「今の」「それ」などの照応語に対しては，存在するオブジェクトの新しさなどを考慮してオブジェクト空間から適切なオブジェクトを選択する．「取り消す」の書換え規則は，

$$Object : \phi \Rightarrow Undo : \phi$$

である．Sync/Draw では，それまでの入力がその履歴も含めてオブジェクト空間に保持される．このため，(3.4) のような操作の取り消しなども容易に行える．もとに戻された線に対するオブジェクトを以下に示す．

$$Undo : Move : \begin{bmatrix} Begin : \begin{bmatrix} X : 143 \\ Y : 70 \end{bmatrix} \\ End : Point : \begin{bmatrix} X : 85 \\ Y : 110 \end{bmatrix} \\ Object : Draw : Line : \begin{bmatrix} Start : Point : \begin{bmatrix} X : 65 \\ Y : 40 \end{bmatrix} \\ End : Point : \begin{bmatrix} X : 205 \\ Y : 104 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

3.4.4 図の消去

(3.5) は, 描画した線を削除する操作例である.

(3.5) それを消す.

「消す」の書換え規則は,

$$Object : [\phi] \Rightarrow Delete : [\phi]$$

である. 「消す」などの操作に対してもそれをオブジェクト空間から削除することはせず, 次のようなオブジェクトとして保持する.

$$Delete : Undo : Move : \begin{bmatrix} Begin : \begin{bmatrix} X : 143 \\ Y : 70 \end{bmatrix} \\ End : Point : \begin{bmatrix} X : 85 \\ Y : 110 \end{bmatrix} \\ Object : Draw : Line : \begin{bmatrix} Start : Point : \begin{bmatrix} X : 65 \\ Y : 40 \end{bmatrix} \\ End : Point : \begin{bmatrix} X : 205 \\ Y : 104 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

これにより, 次に入力される「やはり消さない」などといった操作に対しても容易に対処することができる.

3.5 評価

マルチモーダル音声対話における入力を漸進的に解釈することの有用性を確かめるために，Sync/Draw を用いて描画実験を行った．

3.5.1 実験方法

本実験は，マルチモーダル音声対話インターフェースにおいて，入力された自然言語を文単位で解釈する手法と漸進的に解釈する手法との間の作業効率及び操作性を調査することを目的とする．音声認識性能が評価に影響することを避けるため，“Wizard of Oz” 方式 [安藤ら 1994] を採用した．すなわち，計算機に代わる操作者がユーザの音声指示にしたがって別の端末上から操作する疑似実験を行った．また，Sync/Draw との比較に用いられる文単位で処理する実験システムは，文発声完了後に応答するよう Sync/Draw の変更により代用した．これにより，応答のタイミング以外は完全に同一のシステムを用いて実験を行える．

被験者は情報工学系の学生 10 人である．すべて通常の描画エディタの使用経験があった．最初の実験として，初期画面 図 3.7に対して次の手順を作業する描画タスクを設定した．

(1) 赤い四角の右上と左下を結ぶ黒い対角線を描く．

(2) 赤い線をキャンバスの左上に移動する．

5 人の被験者 (A,B,C,D,E) は最初に文単位で反応を返すシステムで，次に Sync/Draw での順で，残りの 5 人 (F,G,H,I,J) はその逆の順でタスクを遂行することとした．被験者は実験終了後，それぞれのシステムに対する使用感を 5 段階 (5: 良い， 1: 悪い) で，また感想を記入することにより評価することが求められた．また，被験者がタスク達成を遂行するのに要した時間を測定した．

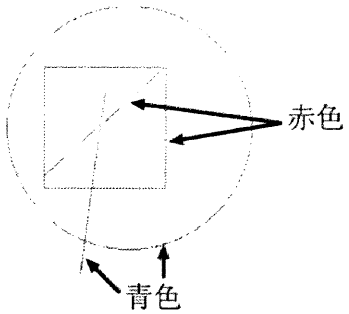


図 3.7: 評価実験課題の初期画面

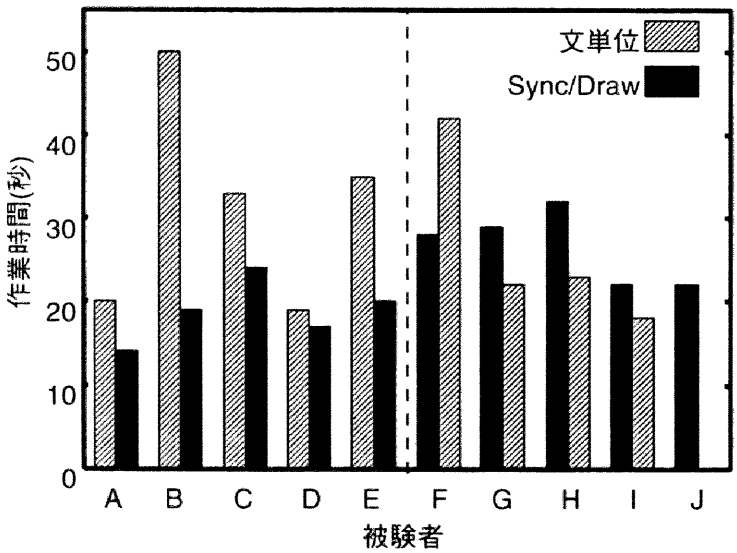


図 3.8: 各被験者の作業時間

表 3.3: 平均作業時間の比較

被験者	文単位での解釈 (秒)	Sync/Draw(秒)
A,B,C,D,E	31.4	18.8
F,G,H,I,J	26.3	26.6
平均	28.9	22.7

3.5.2 実験結果

文単位で反応を返すシステムと Sync/Draw における各被験者のタスク遂行所要時間の結果を図 3.8に示す．横軸は被験者 (A ～ J)，縦軸は作業時間で表している．なお，被験者 J は文単位で反応を返すシステムにおいて課題を完了できなかったため，その作業時間を測定できなかった．これはプログラム上の原因により生じたアクシデントであり，その原因は文単位で反応を返すというシステムの特徴とは全く関係が無い．作業時間の平均を表 3.3に示す． 課題が同じあるため，ほとんどの被験者が一回目よりも二回目の方が短い作業時間で課題を遂行できた．例外は被験者 F と J である．また，一回目及び二回目のいずれの場合でも， Sync/Draw を用いた場合の方が平均作業時間が短かった．

文単位で反応を返すシステムに対する使用感は平均 2.2 点， Sync/Draw に対しては平均 3.8 点であった．被験者全員が Sync/Draw を高く評価した．

文単位で反応を返すシステムに対する感想は次のようなものであった，

- 一文の終了まで反応が返ってこないので不安になる．
- マウスと指示代名詞により選択した図形対象が正しく認識されたのかがわからず不安だった．

Sync/Draw に対する感想は次のようなものであった．

- 反応がすぐに画面に現われるので操作しやすい．

- 入力に対して逐次反応が返ってくるため，システムの認識に関して安心して作業を進めることができた．

実験により，作業時間及び使用感のいずれにおいても Sync/Draw の方が高い評価が得られた．これにより Sync/Draw の一利点を確認した．

3.6 おわりに

マルチモーダル漸進的解釈モデルを提案し，それに基づく日本語音声とマウスポインティングを入力とするマルチモーダル描画システム Sync/Draw について述べた．このシステムは，入力処理プロセス，漸進的解釈プロセス，描画プロセスからなり，それらが入力に対して同時進行的に働く．ユーザによる入力と同期した描画処理が可能となっており，ユーザとシステムとの間の密な対話形態を実現している．今後，ユーザが自らの入力誤りやシステムによる認識誤りを即座に修正するなどといったキャンセル機構の実現により，一層，インタラクティビィティの高い対話が可能となる．

Sync/Draw を実際の描画処理システムとして用いるにはまだ多くの課題が残されているが，このモデルの一利点を Sync/Draw によって確認した．現在，マルチモーダル漸進的解釈モデルを情報検索タスクに応用したマルチモーダル漸進的検索システム Sync/Search の研究を進めている [松永ら 1997]．

第 4 章

あとがき

4.1 本論文のまとめ

本論文では，人間の言語理解プロセスを特徴付ける漸進性という側面が，自然で円滑な対話を進める上で重要な役割を果たしていることに着目し，話し言葉を漸進的に解釈する音声翻訳システム，及び，マルチモーダル音声対話システムを実現した．

まず第 1 章では，話し言葉処理システムにおける漸進的処理プロセスの必要性について論じ，自然言語の漸進的解釈に関する従来の研究動向を概観した．その中でそれらの研究の多くが，計算言語学における最も重要な課題の一つである構造的あるいは語義的曖昧性を，できる限り早い段階で効率的に解消する方法論を提供することをその主要目的としていること，また，漸進的解釈技術をベースとした応用システムについては，あまり研究されていないことを指摘した．このような現状を踏まえ本研究では，音声入力された自然言語を漸進的に解釈しながら随時，処理を実行するシステムを実現することを目的とし，実際の応用として，英日話し言葉翻訳システム，及びマルチモーダル描画エディタを選定した．本論文は，これらのシステムを作成し，また使用することにより，話し言葉処理における漸進的解釈の有効性を確認した研究として位置付けられる．本論文の成果を以下にまとめる．

第 2 章では，文法的不適格表現を含む日本語発話を生成する漸進的な英日話し言葉翻訳手法を提案した．互いに語の生起順序が異なる英語から日本語文への翻訳において，翻訳結果として繰り返し，語順の逆転，省略，言い誤り，言い直し，言い淀みを含むことを容認することにより，意味内容の通じる程度の品質をもつ翻訳文を漸進的に作り出すことができることを例をもって示した．また，英日通訳者によって発声された日本語通訳文を調査した結果，これらの文法的不適格表現が実際の通訳文においても高頻度で現れることを明らかにすることにより，本手法の妥当性を示した．これにより高度漸進性を満たす同時通訳システムの実現可能性が明らかになった．

さらに，漸進的な英日話し言葉翻訳システムの実現方法について述べた．システムは主に漸進的な解析処理プロセスと漸進的な変換処理プロセスから構成され，それらが同期的に働く．まずはじめに，漸進的な解析処理について述べた．これは到達可能性を用いたチャート法をベースとしたモデルであり，語が入力されるたびにそれまでの入力に対する弧を少なくとも一つ必ず生成することができる．解析手続きを示し，その解析過程をチャートのグラフ表現形式を用いて示した．なお，ここで示したチャート法はコンビネータ範疇文法 [Steedman 1987] と同様の働きをすることが可能である．また，漸進的な英日変換処理について述べた．漸進的なチャート解析処理の途中で変換処理の対象となる弧が複数生成されたときに，それらの中から誤った弧を選択すると翻訳に失敗するという問題に対して，言い直しを活用することにより正しい翻訳結果を作り上げることができる．そこで，そのような言い直しを実現する方法を説明した．また，より自然な言い直しを可能にする方法についても検討した．さらに，作成したプロトタイプシステムについてその概要を述べ，実際の英語対話に対して行った翻訳実験について報告した．実験の結果，8 割以上の英語会話文が意味的に正しく翻訳され本手法の有効性を確認した．また，一語に対する翻訳処理の平均時間はユーザによる一単語の平均発話時間に対して無視できる程度であり，本手法が同時通訳システムに利

用可能であることを確認した.

3章では，マルチモーダル漸進的解釈モデルを提案した．このモデルは，入力処理プロセス，漸進的解釈プロセス，出力処理プロセスから構成され，それらが同期的に働くシステムであり，各処理プロセスの新しい統合方式を提案している．この統合により，人と計算機との間の自然で柔軟な対話を実現することができる．マルチモーダル漸進的解釈モデルの概要を示しその有効性について論じた．また，本モデルに基づく実験システムであるマルチモーダル描画システム Sync/Draw を説明した．実行例を提示することにより，Sync/Draw が語順の逆転や照応表現など，さまざまな入力表現に対して柔軟に対応できること，移動や消去，入力の取り消しなどのさまざまな入力を処理できることを示した.

4.2 今後の課題と将来への展望

本論文が残した課題と将来への展望を述べる.

漸進的な話し言葉翻訳システムに関しては以下の研究課題がある.

- 翻訳処理単位の検討

  本研究では，音声入力に対して高度に即時的な翻訳処理を実行するシステムの開発を目標としているが，変換処理の単位が語である必然性は必ずしもない．実際，同時通訳者による発声のタイミングを観察しても，音声入力に対してある程度遅れが存在していることは明らかである．翻訳処理における漸進性の度合と翻訳精度との間にはトレードオフが存在すると考えられ，より品質の高い話し言葉翻訳を実現するためには，語単位からそれ以上に翻訳の単位を緩めることは1つの方法である．しかし，その単位 (例えば，句など) をどのように設定するかについては今のところ有用な知見がなく，同時通訳者が用いている方法を参照するなど，今後，検討を要する課題となっている.

- 漸進的解釈に適した文法の開発

  2章で述べた翻訳実験の結果，解析途中で作成される構文構造の数の多少が翻訳精度に大きく影響を与えることがわかった．作成される構文構造の数は文法規則の書き方に大きく依存する．より精度の高い翻訳処理の実現のために，漸進的な解析処理に適した文法規則について定め，一般の文脈自由文法をそのような文法に変換するアルゴリズムを開発する必要がある [浅井ら 1998].

- 文法的不適格文に対する漸進的な翻訳処理の実現

  本論文では，効果的な音声翻訳システムの実現を目的として，音声の出現に関する連続的な性質に焦点をあて，漸進的な翻訳方式を中心に論じてきたが，それ以外に解決すべき問題として音声言語に頻出する文法的不適格文への対処方法があげられる [飯田 & 古瀬 1996]．本研究で導入した双方向チャート解析法は，一般化範疇文法 [Briscoe 1987] による解析手法とともに，漸進的な統語解析に適しているが，不適格性を含んだ自然言語文を漸進的に解析できるかどうかについては明らかではない．チャート法を用いた文単位での不適格文解析手法が提案されているものの [Mellish 1989, Kato 1994, 加藤 1995]，漸進的な翻訳処理では入力に対して即時的に翻訳結果を生成するために，入力途中で生じる不適格性に対してできる限り早い段階で誤りを修正する必要がある [加藤ら 1997]．これについては現在検討中である [加藤ら 1998],

- 日英話し言葉翻訳手法の開発

  本研究では，英語から日本語への実時間話し言葉翻訳システムを構築した．したがって，漸進的な日英翻訳システムが開発されるならば，将来的には同時通訳を用いた英語日本語間翻訳対話の実現も期待できる．漸進的な日英翻訳システム実現のための困難として，英語では比較的早い段階で動詞を出力する必要があるのに対して，日本語では動詞が最後に出現する点を挙げることができる [岩島ら 1996]．また，本論文では日本語の語の生起順序が比較的

自由であることに着目し，語順の逆転などといったアイデアを活用したが，英語は語順に関する制約が厳格であるため，同様の手法を日英翻訳において採用することは難しいといった問題もある．この2点を克服することがシステム実現のためのポイントであり，現在，未入力動詞をそれ以外の入力単語から推測する手法について検討している [岩島ら 1997, 岩島ら 1998]．また，本手法を他の言語間の翻訳処理に応用することにより多言語情報処理システムを作成することは将来的な課題である．

漸進的解釈に基づく音声対話システムに関しては，以下の研究課題がある．

- 頑健な音声対話システムの開発

  本論文では，マルチモーダル漸進的解釈モデルの利点として，システムの認識誤りをユーザが即座に訂正できるということを述べた．しかし現在までのところ，Sync/Draw にその機能は実装されていない．また，本論文の冒頭でも述べたように，話し言葉には言い直しや言い誤り，省略などさまざまな非文法的な表現が頻出する．今後，それらの言語現象に対して頑健に対処可能なシステムへと拡張する必要がある．

- マルチモーダル入力に適した漸進的解釈手法の検討

  Sync/Draw は，音声とポインティングによる入力情報をオブジェクト空間という統一的な意味構造として表現する．よって，オブジェクト空間をユーザとのインタラクションにより獲得したシステムの知識とみなすことができる．今後，知識を管理するための推論システムを考案する必要がある．さらに近年，語彙機能文法 (lexical functional grammar: LFG) [Bresnan 1982]，一般化句構造文法 (generalized phrase structure grammar: GPSG) [Gazdar 1985]，主辞駆動型句構造文法 (head-driven phrase structure grammar: HPSG) [Pollard & Sag 1987]，日本語句構造文法 (Japanese phrase structure grammar: JPSG) [郡司 1986] などの単一化に基づく枠組 [Shieber 1986] が提案

されているが，それらはすべて素性構造 (feature structure) による表現方法を採用している．素性構造は本論文で提案したオブジェクトに似通っており，それらの間の比較を行うことは興味深い研究課題である．

- 新たな応用システムの実現

  本論文で提案したマルチモーダル漸進的解釈モデルを描画処理として実現することによりその有効性を示した．本モデルは，人 - 計算機インタラクションに基づくさまざまなシステムに対して有効であると考えられ，現在，情報検索への応用を試みている [松永ら 1997]．今後，システムの実装を進め，その使用を通じて本モデルの汎用性を評価する予定である．

将来の展望としては，マルチモーダル多言語対話翻訳システムの実現が挙げられる．話者の表情や視線，身振りなどは実際の発話理解において重要なファクターであり，どのようなノンバーバル情報が発信されたかによって発話の意味が異なってくる．さらに国や民族によってノンバーバル情報の意味が異なる場合も少なくない．よってマルチモーダル対話翻訳では，マルチモーダル情報からマルチモーダル情報への同時的な変換が重要であり，本論文で述べたような同時通訳システムとマルチモーダル音声対話システムとの融合が必要になると考えられる．

謝辞

本研究を進め，まとめるにあたり，懇切丁寧な御指導と御鞭撻を頂いた名古屋大学大学院教授の稲垣康善先生に心から感謝致します．

本論文をまとめるにあたり，貴重な御示唆と御指導を頂いた名古屋大学大学院教授の坂部俊樹ならびに大西昇両先生に深く感謝致します．

日頃より有意義な御議論を頂き，また，本論文をまとめるにあたり適切な御示唆を頂いた名古屋大学大学院助教授の外山勝彦先生に感謝の意を表します．

熱心に御討論下さった名古屋大学大学院杉野花津江助手，河口信夫助手，大型計算機センター山口由紀子助手，三重大学 Muhtar Mahsut 助手，有益な御助言を頂いた名古屋大学大学院平田富夫教授，結縁祥治助手，愛知県立大学大久保弘崇助手に感謝します．

名古屋大学稲垣研究室の多くの皆様から種々の教示と示唆を頂きました．記して感謝します．特に，自然言語の形式的理論について熱心な御討論を頂いた竹村俊徳氏，杉本渉氏，漸進的な話し言葉翻訳システムについて御議論を頂いた岩田芳明氏，岩島恵一氏，加藤芳秀氏，浅井悟氏，漸進的解釈に基づくマルチモーダル音声対話システムについて御議論を頂いた山本博之氏，松永悟氏に感謝します．

最後に，タイで開催された国際会議参加にあたりお世話になった Kasetsart 大学 Asanee Kawtrakul 助教授，研究活動を行うにあたりいろいろとお世話になった山岸慶子事務官に感謝します．

発表論文リスト

発表論文	関連する章
Yasuyoshi Inagaki and Shigeki Matsubara: Models for Incremental Interpretation of Natural Language, In *Proceedings of the Second Symposium on Natural Language Processing*, pp. 51–60, Bangkok, Thailand (1995).	1 章
松原 茂樹，浅井 悟，外山勝彦，稲垣 康善：不適格表現を用いた漸進的な話し言葉翻訳手法，電気学会論文誌, Vol.118-C, No. 1, pp. 71–78 (1998).	2 章
Shigeki Matsubara, Satoru Asai, Yasuyoshi Inagaki and Katsuhiko Toyama: Incremental Spoken Language Translation Utilizing Grammatically Ill-Formed Expressions, In *Proceedings of the Third Conference of Pacific Association for Computational Linguistics*, pp. 188–194, Ohme, Tokyo (1997).	2 章
Shigeki Matsubara, Satoru Asai, Katsuhiko Toyama and Yasuyoshi Inagaki: Utilizing Grammatically Ill-formed Expressions in Incremental English-Japanese Spoken Language Translation, *Computational Intelligence: An International Journal* (to be submitted).	2 章

発表論文	関連する章
Shigeki Matsubara and Yasuyoshi Inagaki: Incremental Transfer in English-Japanese Machine Translation, *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E80-D, No. 11, pp. 1122–1129 (1997).	2 章
Shigeki Matsubara and Yasuyoshi Inagaki: Utilizing Extra-Grammatical Phenomena in Incremental English-Japanese Machine Translation, In *Proceedings of the Seventh International Conference on Theoretical and Methodological Issues in Machine Translation*, pp. 131–138, Santa Fe, New Mexico, U.S.A. (1997).	2 章
Shigeki Matsubara, Satoru Asai, Katsuhiko Toyama and Yasuyoshi Inagaki: Chart-based Parsing and Transfer in Incremental Spoken Language Translation, In *Proceedings of the Fourth Natural Language Processing Pacific Rim Symposium incorporating the Third Symposium on Natural Language Processing*, pp. 521–524, Phuket, Thailand (1997).	2 章
Shigeki Matsubara, Nobuo Kawaguchi, Hiroyuki Yamamoto and Yasuyoshi Inagaki: A Multi-Modal Interaction System based on Incremental Interpretation of Natural Language. In *Proceedings of the Eighth Annual International Energy Week Conference & Exhibition*, Book V, Vol. III, pp. 138–144, Houston, Texas, U.S.A. (1997).	3 章
山本 博之，松原 茂樹，河口 信夫，稲垣 康善：自然言語の漸進的解釈に基づくマルチモーダル対話システム，田中二郎 (編)：インタラクティブシステムとソフトウェア IV，レクチャーノート / ソフトウェア学 16, pp. 121–130, 近代科学社 (1996).	3 章

発表論文	関連する章
Shigeki Matsubara, Nobuo Kawaguchi, Hiroyuki Yamamoto, Yasuyoshi Inagaki and Katsuhiko Toyama: An Interactive Multimodal Drawing System based on Incremental Interpretation, In *Proceedings of the 15th International Joint Conference on Artificial Intelligence Workshop on Intelligent Multimodal Systems*, pp. 55–62, Nagoya (1997).	3章
河口 信夫，松原 茂樹，山本 博之，外山 勝彦，稲垣 康善：漸進的日本語解釈に基づくマルチモーダル作図システム，コンピュータソフトウェア (投稿中).	3章

参考文献

[Ades & Steedman 1982] Anthony E. Ades and Mark J. Steedman: On the Order of Words, *Linguistic and Philosophy*, Vol. 4, pp. 517–558 (1982).

[赤峯 & 古瀬 1995] 赤峯 亨, 古瀬 蔵：英日対話文翻訳における漸進的な日本語文生成法, 言語処理学会第 1 回年次大会, pp. 281–284 (1995).

[秋葉 & 田中 1992] 秋葉 友良, 田中 穂積：拡張部分木を用いた漸進的構文解析, 情報処理学会第 45 回全国大会 (3), pp. 175–176 (1992).

[秋葉ら 1993] 秋葉 友良, 伊藤 克亘, 奥村 学, 田中 穂積：増進的曖昧性解消モデルに基づいた日本語解析, コンピュータソフトウェア, Vol. 10, No. 1, pp. 29–40 (1993).

[Altmann 1987] Gerry T.M. Altmann: Modularity and Interaction in Sentence Processing, In J. Garfield (ed.), *Modulality in Knowledge Representation and Natural Language Understanding*, pp. 249–257, MIT Press (1987).

[Altmann & Steedman 1988] Gerry T.M. Altmann, and Mark J. Steedman: Interaction with Context During Human Sentence Processing, *Cognition*, Vol. 30, pp. 191–238 (1988).

[Amtrup 1995] Jan W. Amtrup: Chart-based Incremental Transfer in Machine Translation, In *Proceedings of the 6th International Conference of The-*

oretical and Methodological Issues in Machine Translation (TMI-95), pp. 188–195 (1995).

[安藤ら 1994] 安藤ハル，北原 洋一，畑岡 信夫：マルチモーダルインタフェースの評価，電子情報通信学会論文誌，Vol. J77-D-II, No. 8, pp. 1417–1428 (1994).

[Ando et al. 1994] Haru Ando, Yoichi Kitahara and Nobuo Hataoka: Evaluation of Multimodal Interface Using Spoken Language and Pointing Gesture on Interior Design System In *Proceedings of the 4th International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP '94)*, pp. 567–570 (1994).

[浅井ら 1997a] 浅井 悟，松原 茂樹，外山 勝彦，稲垣 康善：言い直しを用いた漸進的な英日翻訳手法，人工知能学会第 11 回全国大会論文集，pp. 360–363 (1997).

[浅井ら 1997b] 浅井 悟，松原 茂樹，外山 勝彦，稲垣 康善：漸進的な話し言葉翻訳のためのチャートを用いた変換手法，平成 9 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集，p. 276 (1997).

[浅井ら 1997c] 浅井 悟，松原 茂樹，外山 勝彦，稲垣 康善：漸進的な英日話し言葉翻訳システムにおけるチャートに基づく変換手法，情報処理学会研究報告，97-NL-122, pp. 29–34 (1997).

[浅井ら 1998] 浅井 悟，松原 茂樹，外山 勝彦，稲垣 康善：漸進的な機械翻訳のための文法規則の変換手法，言語処理学会第 4 回年次大会(1998). 発表予定

[Barwise & Perry 1983] Jon Barwise and John Perry: *Situations and Attitudes*, MIT Press (1983). 土屋 俊, 鈴木 浩之, 白井 英俊, 片桐 恭弘, 向井国昭 (訳)：状況と態度, 産業図書(1991).

[Barwise 1987] Jon Barwise: Noun Phrases, Generalized Quantifiers and Anaphora, In Peter. Gärdenfors(ed.), *Generalized Quantifiers*, pp. 1–29, Reidel (1987).

[Bobrow & Webber 1980] Robert J. Bobrow and Bonnie L. Webber: Knowledge Representation for Syntactic/Semantic Processing, In *Proceedings of the 1st Annual National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-80)*, pp. 316–323 (1980).

[Bolt 1980] Richard A. Bolt: Put-That-There: Voice and Gesture at the Graphics Interface, *ACM Computer Graphics*, Vol. 14, No. 3, pp. 262–270, (1980).

[Bresnan 1982] John W. Bresnan: *The Mental Representation of Grammatical Relations*, Cambridge Mass., MIT Press (1982).

[Briscoe 1987] Ted E.J. Briscoe: *Modelling Human Speech Comprehension: A Computational Approach*, Ellis Horwood Limited (1987).

[伝 1996] 伝 康晴：話し言葉における非文法的現象とその機械的処理, 人工知能学会研究会資料, SIG-SLUD-9503, pp. 9–16 (1996).

[伝 1997] 伝 康晴：統一モデルに基づく話し言葉の解析, 自然言語処理, Vol. 4, No. 1, pp. 23–40 (1997).

[Dowty et al. 1981] David R. Dowty, Robert E. Wall and Stanley Peters: *Introduction to Montague Semantics*, Reidel (1981).

[江原ら 1990] 江原 暉将，井ノ上 直己，幸山 秀雄，長谷川 敏朗，庄山 富美，森元 逞：ATR 対話データベースの内容，テクニカルレポート TR-I-0186, ATR 自動翻訳電話研究所(1990).

[Furuse & Iida 1994] Osamu Furuse and Hitoshi Iida: Constituent Boundary Parsing for Example-Based Machine Translation, In *Proceedings of the 15th International Conference on Computational Linguistics (COLING '94)*, pp. 105–111 (1994).

[Furuse & Iida 1996] Osamu Furuse and Hitoshi Iida: Incremental Translation Utilizing Constituent Boundary Patterns, In *Proceedings of the 16th International Conference on Computational Linguistics (COLING '96)*, pp. 412–417 (1996).

[古瀬ら 1994] 古瀬 蔵，隅田 英一郎，飯田 仁：経験的知識を活用する変換主導型機械翻訳，情報処理学会論文誌, Vol. 35, No. 3, pp. 414–425 (1994).

[Gazdar 1985] Gerald Gazdar, Ewan Klein, Geoffrey K. Pullum and Ivan A. Sag: *Generalized Phrase Structure Grammar*, Basil Blackwell (1985).

[Groendijk & Stockhof 1991] Jeroen Groendijk and Martin Stockhof: Dynamic Predicate Logic, *Linguistics and Philosophy*, Vol. 14, pp. 39–100 (1991).

[郡司 1986] 郡司 隆男：日本語句構造文法，人工知能学会誌, Vol. 1, No. 2, pp. 203–210 (1986).

[Haddock 1987] Nicholas J. Haddock: Incremental Interpretation and Combinatory Categorial Grammar, In *Proceedings of the 10th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '87)*, pp. 661–663 (1987).

[Haddock 1989] Nicholas J. Haddock: Computational Models of Incremental Semantic Interpretation, *Language and Cognitive Processes*, Vol. 4, No. 3/4, pp. 337–368 (1989).

[畑崎 1992] 畑崎 香一朗：日英双方向自動翻訳システム INTERTALKER, 情報処理学会第 44 回全国大会講演論文集 (3), pp. 219–220 (1992).

[Hobbs et al. 1993] Jerry R. Hobbs, Mark E. Stickel, Douglas E. Appelt and Paul Martin: Interpretation as Abduction, *Artificial Intelligence*, Vol. 63, pp. 69–142 (1993).

[Hirst 1988] Graeme Hirst: Semantic Interpretation and Ambiguity, *Artificial Intelligence*, Vol. 34, pp. 131–177 (1988).

[飯田 1991] 飯田 仁：対話翻訳と高度自然言語処理, 人工知能学会誌, Vol. 6, No. 3, pp. 328–337 (1991).

[飯田 & 古瀬 1996] 飯田 仁, 古瀬 蔵：音声言語の翻訳機構と多言語翻訳実験, 情報処理学会第 53 回全国大会講演論文集 (2), pp. 75–76 (1996).

[Inagaki & Matsubara 1995] Yasuyoshi Inagaki and Shigeki Matsubara: Models for Incremental Interpretation of Natural Language, In *Proceedings of the 2nd Symposium on Natural Language Processing (SNLP '95)*, pp. 51–60 (1995).

[岩島ら 1996] 岩島 恵一, 松原 茂樹, 稲垣 康善：漸進的な日英機械翻訳手法の検討 – 用例を用いた動詞の推測に基づくアプローチ –, 平成 8 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, p. 312 (1996).

[岩島ら 1997] 岩島 恵一, 松原 茂樹, 外山 勝彦, 稲垣 康善：漸進的な日英翻訳のための英語動詞推測手法, 平成 9 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, p. 276 (1997).

[岩島ら 1998] 岩島 恵一, 松原 茂樹, 外山 勝彦, 稲垣 康善：英語動詞の予測に基づく漸進的な日英話し言葉翻訳手法, 情報処理学会第 55 回全国大会講演論文集 (2) (1998). 発表予定

[岩田ら 1996] 岩田 芳明, 松原 茂樹, 稲垣 康善：チャート法に基づく漸進的な英日機械翻訳手法, 言語処理学会第 2 回年次大会発表論文集, pp. 17–20 (1996).

[神尾ら 1994] 神尾 広幸, 松浦 博, 正井 康之, 新田 恒雄：マルチモーダル対話システム MultiksDial, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J77-D-II, No. 8, pp. 1429–1437 (1994).

[Kamp 1981] Hans Kamp: A Theory of Truth and Semantic Representation, In Jeroen Groendijk et al.(ed.), *Formal Methods in the Study of Language*, pp. 277–322 (1981).

[Kamp & Reyle 1993] Hans Kamp and Uwe Reyle: *From Discouse to Logic*, Kluwer (1993).

[金沢ら 1993] 金沢 博史, 坪井 宏之, 竹林 洋一：雑音下の連続音声中からのキーワード検出, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J76-D-II, No. 3, pp.427–435 (1993).

[Kato 1994] Tsuneaki Kato：Yet Another Chart-Based Techinique for Parsing Ill-Formed Input, In *Proceedings of the 4th Conference on Applied Natural Language Processing (ANLP '94)*, pp. 107–112 (1994).

[加藤 1995] 加藤 恒昭：一般化弧を用いた A* 探索による非文の解析，情報処理学会論文誌，Vol.36, No.10, pp. 2343–2352 (1995).

[加藤ら 1997] 加藤 芳秀，松原 茂樹，浅井 悟，外山 勝彦，稲垣 康善：話し言葉における文法的不適格文に対する漸進的翻訳手法，情報処理学会第 55 回全国大会講演論文集 (2)，pp. 43–44 (1997).

[加藤ら 1998] 加藤 芳秀，松原 茂樹，外山 勝彦，稲垣 康善：文法的不適格文に対する統語的制約を用いた漸進的解析手法，言語処理学会第 4 回年次大会 (1998). 発表予定

[Kay 1980] Martin Kay: Algorithm Schemata and Data Structures in Syntactic Processing, *Technical Report CSL-80-12*, Xerox PARC (1980).

[Kempen 1987] Gerard Kempen: A Framework for Incremental Syntactic Tree Formation, In *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '87)*, pp. 655–660 (1987).

[Kempen & Hoenkamp 1987] Gerard Kempen and Edward Hoenkamp: An Incremental Procedural Grammar for Sentence Formulation, *Cognitive Science*, Vol. 11, pp. 201–258 (1987).

[Kitano 1990a] Hiroaki Kitano: Incremental Sentence Production with a Parallel Marker-Passing Algorithm, In *Proceedings of the 13th International Conference on Computational Linguistics (COLING '90)*, pp. 217–222 (1990).

[Kitano 1990b] Hiroaki Kitano: ΦDMDIALOG: A Speech-to-Speech Dialogue Translation System, *Machine Translation*, Vol. 5, pp. 301–338 (1990).

[Marslen-Wilson & Tyler 1987] William D. Marslen-Wilson and Lorraine K. Tyler: Against Modurality, In Jay L. Garfield(ed.), *Modurality in Knowledge Representation and Natural Language Understanding*, pp. 37–62, MIT Press (1987).

[松永ら 1997] 松永 悟，松原 茂樹，河口 信夫，外山 勝彦，稲垣 康善：自然言語の漸進的解釈に基づくファイル検索システム: Sync/Search，日本ソフトウェア科学会第 14 回大会論文集，pp. 97–100 (1997).

[松原 & 稲垣 1996a] 松原 茂樹，稲垣 康善：同時通訳により生成された日本語会話文の調査・分析，1996 年電子情報通信学会情報・システムソサイエティ大会講演論文集，D-55, p. 55 (1996).

[松原 & 稲垣 1996b] 松原 茂樹，稲垣 康善：漸進的な英日機械翻訳により生成された日本語翻訳文の評価，平成 8 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集，p. 622 (1996).

[松原ら 1995a] 松原 茂樹，外山勝彦，稲垣 康善：漸進的解釈に基づく対話理解モデル 1995 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, D-122, pp. 128–129 (1995).

[松原ら 1995b] 松原 茂樹，外山勝彦，稲垣 康善：動的意味論を用いた漸進的談話解釈モデル，言語処理学会第 1 回年次大会発表論文集, pp. 165–168 (1995).

[松原ら 1997] 松原 茂樹，浅井 悟，外山勝彦，稲垣 康善：漸進的な話し言葉翻訳のためのチャート解析手法，平成 9 年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集，p. 276 (1997).

[松本 1988] 松本 裕治：統語解析の手法, 田中 穂積，辻井 潤一 (編), 自然言語理解, pp. 59–100 オーム社(1988).

[松本 1992] 松本 裕治：頑健な自然言語処理へのアプローチ、情報処理, Vol. 33, No. 7, pp. 757–767 (1992).

[Mellish 1985] Chris S. Mellish: *Computer Interpretation of Natural Language Descriptions*, Ellis Horwood Limited (1985). 田中 穂積 (訳)：自然言語意味理解の基礎, サイエンス社(1987).

[Mellish 1989] Chris S. Mellish: Some Chart-Based Techniques for Parsing Ill-Formed Input, In *Proceedings of the 27th Annual Meeting of Association for Computational Linguistics (ACL '89)*, pp. 102–109 (1989).

[Menzel 1994] Wolfgang Menzel: Parsing of Spoken Language under Time Constraints, In *Proceedings of the 11th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI '94)*, pp. 560–564 (1994).

[Milward 1992] David Milward: Dynamics, Dependency Grammar and Incremental Interpretation, In *Proceedings of the 14th International Conference on Computational Linguistics (COLING '92)*, pp. 1095–1099 (1992).

[Milward & Cooper 1994] David Milward and Robin Cooper: Incremental Interpretation: Applications, Theory, and Relationship to Dynamic Semantics, In *Proceedings of the 15th International Conference on Computational Linguistics (COLING '94)*, pp. 748–754 (1994).

[Milward 1995] David Milward: Incremental Interpretation of Categorial Grammar, In *Proceedings of the 7th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics (EACL '95)*, pp. 119–126 (1995).

[美馬ら 1997] 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).

[Muskens 1990] Reinhard Muskens: Anaphora and the Logic of Change, *Lecture Note in Aritificial Intelligence*, Vol. 478, pp. 412–427 (1990).

[Morimoto et al. 1992] Tsuyoshi Morimoto, Masami Suzuki, Toshiaki Takezawa, Genichiro Kikui, Masaaki Nagata and Tomokiyo Mutsuko: A Spoken Language Translation System: SL-TRANS 2, In *Proceedings of the 14th International Conference on Computational Linguistics (COLING '92)*, pp. 1048–1052 (1992).

[永田 & 小暮 1990] 永田 昌明，小暮 潔：音声言語日英翻訳実験システム SL-TRANS における日本語解析，情報処理学会研究報告，NL78-20, pp. 153–160 (1990).

[中野ら 1995] 中野 幹生，島津 明，小暮 潔：分散協調処理による自然言語解析，コンピュータソフトウェア，Vol. 12, No. 5, pp. 33–44 (1995).

[西本ら 1996] 西本 卓也，志田 修利，小林 哲則，白井 克彦：マルチモーダル入力環境下における音声の協調的利用 – 音声作図システム S-tgif の設計と評価，電子情報通信学会論文誌，Vol. J79-D-II, No. 12, pp. 2176–2183 (1996).

[Niv 1994] Michael Niv: A Psycholinguistically Motivated Parser for CCG, In *Proceedings of the 29th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL '94)*, pp. 125–132, (1994).

[奥村 1994] 奥村 学：漸進的な自然言語解析モデルについて，*bit*, Vol. 26, No. 8, pp. 70–79 (1994).

[奥村 1995] 奥村 学：自然言語の意味的曖昧性解消法，人工知能学会誌，Vol. 10, No. 3, pp. 2–9 (1995).

[奥村 & 田中 1989] 奥村 学，田中 穂積：自然言語における意味的曖昧性を増進的に解消する計算モデル，人工知能学会誌，Vol. 4, No. 6, pp. 687–694 (1989).

[Okumura & Tanaka 1990] Manabu Okumura and Hozumi Tanaka: Towards Incremental Disambiguation with a Generalized Discrimination Network, In *Proceedings of the 11th Annual National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-90)*, pp. 990–995 (1990).

[奥村 & 田中 1992] 奥村 学，田中 穂積：Discrimination Network 上での増進的曖昧性解消について，人工知能学会誌，Vol. 7, No. 4, pp. 631–638 (1992).

[Pareschi & Steedman 1987] Remo Pareschi and Mark J. Steedman: A Lazy Way to Chart-Parse with Categorial Grammars, In *Proceedings of the 25th Annual Meeting of the Association for Computer Linguistics, (ACL '87)*, pp. 81–88 (1987).

[Pereira & Warren 1980] Fernando C.N. Pereira and David H.D. Warren: Definite Clause Grammars for Language Analysis – A Surver of the Formalism and a Comparison with Augmented Transition Networks, *Artificial Intelligence*, Vol. 13, pp. 231–278 (1980).

[Pereira & Pollack 1991] Fernando C.N. Pereira and Martha E. Pollack: Incremental Interpretation, *Artificial Intelligence*, Vol. 50, pp. 37–82 (1991).

[Pollard & Sag 1987] Carl Pollard and Ivan A. Sag: *Information-Based Syntax and Semantics, Vol. 1: Fundamentals*, CSLI Lecture Notes Series 12, CSLI, Stanford University (1987).

[Rosetta 1994] M.T. Rosetta: *Compositional Translation*, Kluwer (1994).

[定延 & 田窪 1995] 定延 利之，田窪 行則：談話における心的操作モニター機構，言語研究， Vol. 108, pp. 74–93 (1995).

[Sagawa et al. 1994] Yuji Sagawa, Noboru Ohnishi and Noboru Sugie: A Parser Coping with Self-Repaired Japanese Utterances and Large Corpus-based Evaluation, In *Proceedings of the 15th International Conference on Computational Linguistics (COLING '94)*, pp. 593–597 (1994).

[Sanford & Garrod 1989] Anthony J. Sanford and Simon C. Garrod: What, When, and How?: Questions of Immediacy in Anaphoric Reference Resolution, *Language and Cognitive Processes*, Vol. 4, No. 3/4, pp. 235–262 (1989).

[Shieber 1986] Stuart M. Shieber: *An Introduction to Unification-based Approaches to Grammar*. CSLI Lecture Notes Series 4, CSLI, Stanford University (1986).

[島津 & 高島 1994] 島津 秀雄, 高島 洋典：マルチモーダル Definite Clause Grammar (MM-DCG), 電子情報通信学会論文誌, Vol. J77-D-II, No. 8, pp. 1438–1446 (1994).

[白井 & 竹澤 1994] 白井 克彦, 竹澤 寿幸：音声対話処理，人工知能学会誌, Vol. 9, No. 1, pp. 48–56 (1994).

[Steedman 1987] Mark J. Steedman: Combinatory Grammar and Human Sentence Processing, In Jay L. Garfield (ed.), *Modurality in Knowledge Representation and Natural Language Understanding*, pp. 187–205, MIT Press (1987).

[Sumita & Iida 1992] Eiichiro Sumita and Hitoshi Iida: Example-Based Transfer of Japanese Adonominal Particles into English, *IEICE Transactions on Information & Systems*, Vol. E75-D, No. 4, pp. 585–594 (1992).

[Suzuki & Tutiya 1991] Hiroyuki Suzuki and Shun Tutiya: A Strictly Incremental Approach to Japanese Grammar, *Situation Theory and Its Applications*, Vol. 2, pp. 517–532, CSLI, Stanford University (1991).

[鈴木 & 関 1993] 鈴木 雅美，関 倫彦：ATR 音声言語翻訳実験システム ASURA における日英変換処理の現状と課題，電子情報通信学会技術報告，NLC92-58, pp. 17–24, (1993).

[竹林 1994] 竹林 洋一：音声自由対話システム TOSBURG II – ユーザ中心のマルチモーダルインタフェースの実現に向けて –，電子情報通信学会論文誌，Vol. J77-D-II, No. 8, pp. 1417–1428 (1994).

[Takebayashi et al. 1993] Yoichi Takebayashi, Hiroyuki Tsuboi, Hiroshi Kanazawa, Yoichi Sadamoto, Hideki Hashimoto and Hideaki Shinchi: A Real-Time Speech Dialogue System Using Spontaneous Speech Understanding, *IEICE Transaction Information & Systems*, Vol. E76-D, No. 1, pp. 112–120 (1993).

[竹澤ら 1995] 竹澤 寿幸，田代 敏久，森元 逞：音声言語データベースを用いた自然発話の言語現象の調査，人工知能学会研究会資料，SIG-SLUD-9503, pp. 13–20 (1995).

[田窪 1995] 田窪 行則：音声言語の言語学的モデルをめざして，情報処理，Vol. 36, No. 11, pp. 1020–1026 (1995).

[田中 1989] 田中 穂積：自然言語解析の基礎，産業図書(1989).

[坪井ら 1997] 坪井 宏之, 竹林 洋一, 橋本 秀樹：キーワードラティスのLR解析による自由発話理解, 情報処理学会論文誌, Vol. 38, No. 2, pp. 260–269 (1997).

[Wirén 1989] Mats Wirén: Interacive Incremental Chart Parsing, In *Proceedings of the 4th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics (EACL '89)*, pp. 241–248 (1989).

[Wirén 1990] Mats Wirén: Incremental Parsing and Reason Maintenance, In *Proceedings of the 13th International Conference on Computational Linguistics (COLING '90)*, pp. 287–292 (1990).

[Wirén 1994] Mats Wirén: Minimal Change and Bounded Incremental Parsing, In *Proceedings of the 15th International Conference on Computational Linguistics (COLING '94)*, pp. 287–292 (1994).

[Wittenburg 1987] Kent Wittenburg: Predictive Combinators: A Method for Efficient Processing of Combinatory Categorical Grammars, In *Proceedings of the 25th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL '87)*, pp. 73–80 (1987).

[Woods 1970] W.A. Woods: Transition Network Grammars for Natural Language Analysis, *Communications of the ACM*, Vol. 13, No. 10, pp. 591–606 (1970).

[山本ら 1992] 山本 幹夫, 小林 聡, 中川 聖一：音声対話文における助詞落ち・倒置の分析と解析手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 33, No. 11, pp. 1322–1330 (1992).

付録

(A) 正しい翻訳結果の例

- Hi, yes, I am interested in booking a tour to Hong-Kong, please.

  もしもし，はい，興味があります．香港，えーと，香港へのツアーを予約することに興味があります．

- And what does that include?

  それと何は，あっ，何をそれは含みますか？

- I think it was 3days.

  思います，それが3日間であったと．

- I am looking forward to hearing from you.

  楽しみにしています．話しを聞くこと，あっ，えーと，あなたから話しを聞くことを楽しみにしています．

- I would like to stay longer if possible.

  滞在したいです．より長くもし可能なら滞在したいです．

- Does that price include meals?

  それは，えーと，その値段は含みますか？ 食事を含みますか？

- How much would this trip cost?

  いくらこの旅行は費用がかかるだろうか？

- Actually 6 or 7 would be best for me?

  実際，6時または7時は最もよい，あのー，私にとって最もよいものであるだろう．

- I am in Japan for a short visit with my husband.

  日本に少しの間います．えー，私の夫といます．

- Well, I am kind of interested in seeing some Japanese temples and Buddas and things like that.

  えーと，ちょっと興味があります．いくつかの日本の寺と仏陀，それとそのような類のものを見ることにちょっと興味があります．

- I like taking showers.

  好きです．シャワーをすることが好きです．

- I am staying at the Marunouchi Hotel.

  泊まっています．えーと，丸の内ホテルに泊まっています．

- Leaving on the 24th and leaving on the 31st?

  24日に出発と31日に出発？

- I don't think that's possible.

  思いません．それが可能であると．

- Sure, the name is Lenelle Degenhardt.

  ええ，名前はレネーレ デーゲンハルドです．

- I don't have a phone.

  もっていません．電話をもっていません．

- I'm a university student here in Japan and I am interested in booking a tour to India.

  大学生，えー，ここ日本の大学生です．それと興味があります．ツアー，あ，インドへのツアーを予約することに興味があります．

(B) 誤った翻訳結果の例

- And this is for leaving on the 17th ?

  それとこの，えーと，これは意味しています． 出発，えーと， 17 日に出発を意味しています． あのー，それとこれは意味していますか？ 17 日に出発を意味していますか ？

- Well, this isn't just for 1 person .

  ええっと，このあっ，これ は，あのー，えーと，えーと，これはちょうど 1 人分に対してでない．

- Do you have any other tours available besides this one ?

  あなたはもっていますか？ 何かもっていますか？ あのー，何か他のツアー，あっ，この 1 つの，えーと，ものに加えて得られる何か他のツアーをもっていますか？

- So together that would be over 280000 yen, wouldn't it?

  だからまとめてそれは越えているだろう， 280000 円，あのー，越えているだろう．そうですよね．あのー，そうですよね？

- I don't think that's possible.

  私は思わない．それ，えーと，思わない．それが，あのー，思わないとそれが可能なものであると．

- Yes, I think probably the best one is the first one you mentioned.

  はい，私は思います．多分思います．あのー，多分，えーと，思います．多分最も良いものが，えーと，１番めのもの，これはあなた が言いましたことですが．これであると．

- Well, in that case I think the second tour you mentioned sounds better.

  ええっと，それに場合，えー，その場合に私は思います．２番目のツアー，えーと，思います．２番目のツアーにあなた，あのー，思います．２番目のツアーこれはあなたが言いましたことですが．これが思えるとより良い．あのー，より良いと思えると．

- I think by train would be best.

  私は思います．電車でいくこと，あのー，思います．電車でいくことが，最も良い，えーと，最も良いであるだろうと．

- Yes, that's actually exactly what I would like.

  はい，それは，あのー，えーと，実際正確に私が，えーと，が欲しい ことです．

- Could you give me some more specific details about this tour?

  あなたはわたすことができますか？ 私，えーと，いくらか私をわたすことができますか？ あのー，わたすことができますか？ 私にこのツアーについていくらかより明確な詳細をわたすことができますか？

- Is that right?

  それはですか？ えーと，その正しい．あのー，それは正しいですか？

- What is that?

  何は，えーと，何はそれですか？

- I can afford about 200000 yen.

  私は，えーと， 200000 円について余裕があります．

- And the last name is White , W , H , I , T , E.

  それと，えー，姓は，あのー，姓はホワイトです． ダブリュ，エイチ，私，ティー，イー．

- 7 or 8 in the morning?

  7 時，または， 8 時，えーと，朝に 8 時は，あのー， 7 時または朝に 8 時？