

解 説



自然言語処理技術の最近の動向

自然言語処理における曖昧さとその解消†

長 尾 確†† 丸 山 宏†††

1. はじめに

限られた語彙と文法規則にもかかわらず、自然言語を用いて驚くほど多様なことがらを伝えることができるのは、同じ表現が、それが発話された文脈に依存して異なるメッセージを運ぶことができるからである。これを言語の効率性 (efficiency of language) と呼ぶ。しかし、このことは機械によって文を解析しようとしたときに、一つの表現から複数の解釈が得られてしまうという曖昧さ (ambiguity) の原因にもなる。

たとえば、“They are flying planes.” という文を考えてみよう。この文が、「彼らは飛行機を飛ばしている。」ということの意味しているのか、それとも「それらは飛んでいる飛行機である。」という意味であるかは、文脈によらなければ判断がつかない (この文の前に、(a) “What are they doing?” あるいは (b) “What are they?” という文があることを考えてみると良い)。

本稿では、自然言語処理の研究分野において、曖昧さの問題がどのように扱われてきたかについて概観する。2. では、構文的、意味的な制約 (constraint) を精密化していくことによって曖昧さを解消しようとする試みについて述べる。3. では、曖昧さを選好 (preference) と呼ばれるヒューリスティックスによって解消する手法についてサーベイする。また、近年になって、言語の効率性を、曖昧性としてではなく、情報単調性 (information monotonicity) と呼ばれる性質として捉え、文脈によって変化するパラメトリックな表現を用いて扱うという考えが主流になりつつあるが、それを実現する技術については、4. で解説する。

2. 制約に基づく曖昧さの解消

2.1 構文的な制約と曖昧さ

コンピュータによる自然言語処理の最も初期の段階から、曖昧さの問題は最も重要なものの一つとして認識されてきた。たとえば、Kuno²⁵⁾は、文脈自由文法に基づく初の大がかりなパーザにおいて、“Time flies like an arrow.” のような文が、人間の直感よりもはるかに多い曖昧な解析結果をもつことを示した。

ここでは、次のような簡単な英語の文法を使って、構文的曖昧さの問題を考えてみよう。

$$S \rightarrow NP VP$$

$$NP \rightarrow PRON$$

$$NP \rightarrow DET N PP$$

$$VP \rightarrow V NP PP$$

$$PP \rightarrow \epsilon$$

$$PP \rightarrow PREP NP$$

この文法は、たとえば、“I saw a man in the park with a telescope.” のような文を生成する。後ろのほうに並んだ前置詞句 (PP) は、それより前の名詞 (N) や動詞 (V) を修飾できるために、数多くの構文的な曖昧さが発生する。これを前置詞句付加の曖昧性と言う。可能な構文構造は、前置詞句の数が増えていくに従って、2通り、5通り、14通りと増えていく^{6), 28)}。この数列は Catalan 数²⁴⁾と呼ばれ、ほぼ指数関数に近いスピードで増加する*。したがって、上記の文法で与えられた文の「すべての」構文木を求める問題は、手に負えない (intractable な) 問題である。

このような構文的な曖昧さの組合せ的な爆発は文脈自由文法による定式化と密接な関係がある。

Chomsky⁵⁾はその形式的な言語理論に関する研究の中で、生成規則の形によって 0 型、1 型、

† Ambiguities and their Resolution in Natural Language Processing by Katsushi NAGAO (Sony Computer Science Laboratory Inc.) and Hiroshi MARUYAMA (IBM Research, Tokyo Research Laboratory).

†† (株) ソニーコンピュータサイエンス研究所

††† 日本アイ・ビー・エム (株) 東京基礎研究所

* 厳密には指数関数より大きくなるがオーダーとしては等しい。

2 型, 3 型の階層を作った。このうち特に, 2 型 (文脈自由) 文法は, 効率的な認識アルゴリズムをもつことから自然言語の研究において大きく注目されてきた。Kuno による英語のパーザの研究以来, 自然言語のさまざまな形式的な特質について多くの研究がなされてきた。しかし, 言語学の流れに属する多くの研究者の興味は, 弱生成力 (たとえば, 自然言語が文脈自由言語であるかどうか) にあった。しかし, 「いかに非文を生成しないようにするか」と「適格文に対していかに少ない解析結果を出すか」とでは観点が異なり, しばしば異なる体系を生み出す。したがって, このような研究の成果は, 曖昧さの解消にはなかなか結び付かないことが多かったと言える。

文脈自由文法に基づく言語の構文解析アルゴリズムは, コンパイラの研究などによって飛躍的に進歩した。だがそれは, 曖昧さのない場合のことである。一般的な文脈自由文法について, 文の長さ n の 3 乗のオーダーで解析できるアルゴリズム²⁾が知られているが, このようなアルゴリズムはすべての構文木を個々に生成するのではなく, パックされた構造で出力するので, 多項式時間で終わるのである。そもそもこれらのアルゴリズムはプログラミング言語の解析のために考えられたものであり, プログラミング言語の解析では曖昧さは非常に簡単なルールで解消されるので, 問題にはならない³⁾。一方, 自然言語解析では, 複数の曖昧な解釈から最良のものを取り出さなければならないため, 構文木の数の組合せ的な爆発は大きな問題となる。

2.2 構文的制約の精密化

Kuno²⁵⁾の実験からも推察されるように, 簡単な文法を作って構文解析してみてもすぐ分かることは, 人間にとっては間違いであることが明らかな解析結果が数多くできることである。このような解析結果を出さないようにするには, まず文法ルールを十分に精密にすることが第一であろう。たとえば, “Look at the pages of the book which are written by him.” という文では, 数の一致を厳密に見ることによって曖昧さを排除することができる。また, 「彼女はきれいに魚を食べる。」という文では, 形容動詞の連用形が, ある種の連用修

飾を受けない (主語は係らない) ことが文法に記述されていれば, 「彼女は」が「きれいに」に係る解析結果が文法的に排除され, 曖昧さを減らすことができる。

このように文法の細分化を進めていくには, 辞書の語彙項目の構文的な内容を精密化することが必要になる。特に重要なのは, 動詞が主語, 目的語などの引数をどのような形でとるかという, 理論言語学で言うところの**下位範疇化** (subcategorization) の情報 (たとえば, “seem” は to 不定詞を補語としてとるが, “work” はとらない, のような情報) である。たとえば,

Mary works to make money.

Mary seems to work hard.

という二つの文における to 不定詞の役割は適当な下位範疇化の情報があれば曖昧さなく決定できるのが分かるであろう。

文脈自由文法を含む, 句構造文法の枠組では, 自動詞, 他動詞などの範疇 (文法カテゴリ) は, 異なる非終端記号として表わさなくてはならない。このため, 文脈自由文法を拡張してより柔軟に下位範疇化の情報を表わすことが, 拡張文脈自由文法, 語彙機能文法¹⁷⁾などによって試みられている。

2.3 意味的な制約

英語の “ball” という名詞には, (野球などの) ボールという意味のほかに, 舞踏会という意味がある。したがって, “The man hits the colorful ball.” のような文には複数の意味があり得るが, 純粋に構文的な情報だけでは曖昧さを絞りきれない。もし, 舞踏会が SOCIAL-ACTIVITY であり, ボールが PHYSICAL-OBJECT であり, しかも動詞 “hit” が PHYSICAL-OBJECT を目的語にとるとということが語彙の記述で与えられていれば, この文は正しく解釈できる。このような単語と単語の間の意味の整合性に関する条件は, **選択制限** (selectional restriction) と呼ばれている²¹⁾。

選択制限を効果的に使うには, 辞書中の各語 (特に動詞と名詞) に意味素性を記述することが必要になる。意味素性の体系は, 曖昧さの解消の観点からはできるだけ細かいほうがよいが, かといって, 辞書中の何万という単語に統一的な観点で細かい意味素性を与えるのは非常に困難で, また人手のかかる作業である。そこで多くの場合,

★たとえば, UNIX に標準装備されているパーザ・ジェネレータ yacc では, shift/reduce の曖昧さが生じたときに必ず reduce を取ることで, 曖昧性のある文法に対処している。

非常に大雑把な十数個から数十個の意味素性からなる体系を用いることになる。たとえば、オンライン版のロングマン英英辞書の名詞と動詞には、34種の意味素性が付けられている³⁸⁾。

意味素性を付与する困難な作業を別にすれば、選択制限は多くの場合非常に効果的であり、またそのために必要な計算も少なく済む。しかしながら、たとえば次の例の“pen”（筆記用具のペン、または動物などの囲い）の曖昧さを選択制限で解消しようとするならば非常に細かい意味の分類（ある物体が大きい小さいか、など）が必要である。

a pen in the box.

a box in the pen.

また、

My car drinks gasoline.

Personal computers never drink beer.

のように、比喩的な文や否定の文は選択制限を違反することがあるので注意が必要である。

2.4 部分言語（分野を限る）

入力されるべき文がかなり狭い分野の文であれば、部分言語 (sublanguage) のような考え方が有効である。つまり、分野に依存した規則性を捉えるのである。たとえば、機械翻訳システムの実用化の代表的な成功例である Taum Meteo³⁹⁾ では、

Rain occasionally mixed with sleet today.

Changing to snow this evening.

Highs 2 to 4.

のような文を、特別に用意したルールを用いて解析した結果、曖昧さの少ない解釈を得ることに成功した。

部分言語とは言えなくても、非常に稀であるような言語現象は取り扱わないとすることで、曖昧さを減らすこともできる。たとえば、日本語における係り受けの非交差の制約は、常に正しいわけではないが、係り受けが交差することは非常に稀なので、これを文法的な制約と考えると、非交差制約を用いない場合に比べて曖昧さを大幅に減らすことができる。英語では、“of ~” という前置詞句が2個以上、一つの名詞句を修飾することは、一般にない。このように、特定の応用領域では稀な言語現象は文法のカバーする範囲から除外

することによって、曖昧さの原因を減らすことができる。

もし、言われたことに関して十分な推論ができるほど分野が狭く絞り込まれていれば、実世界に関する推論を通して曖昧さの解消ができることがある。有名な対話システムである SHRDLU⁴⁰⁾ では、“Put the blue pyramid on the block in the box.” という文が与えられたとき、対象となる積木の世界に関して推論し、青いピラミッドがどのブロックの上にもない場合は「青いピラミッドを箱の中のブロックの上に置け。」と解釈する。

2.5 表示のレベルと曖昧さ

以上みてきたように、構文から意味へ、さらには世界知識を使った推論へと解析がより深くなるにつれて、より高度な曖昧さ解消が(原理的には)可能になる。しかし本当にそうだろうか？ 自然言語の解析とは、一次元の単語列である入力文を、構文、意味などの規則に従ってなんらかの内部表現に変換することである。自然言語解析における曖昧さとは、このマッピングが通常一意でないことから生じる。構文、意味、文脈という、より深い解析を行うということは、この過程において、より多くの決定を行うということであり、曖昧さ解消のための仕事がより多くなるのである。

たとえば、より深い意味を捉えるために量子子のスコーピングを含んだ意味構造を考えよう。この場合、正しい構文構造が一意に定まったとしても、“Some representative of every department in most companies saw a few samples of each product.” という文は、5つの量子子を含むため、 $120(=5!)$ 通りの量子子のスコーピングの組合せをもつ¹³⁾。たとえば、“some representative of every department” の解釈は、“every” のスコープに “some” のスコープが含まれるとすると、「すべての部門ごとの何人かの代表者」という解釈になるが、“some” のスコープに “every” のスコープが含まれるとすると、「すべての部門を(統括的に)代表する何人かの代表者」という解釈になる。さまざまな言語学的制約を考えると可能な解釈は120個のうち、42個に絞られるが、それでも量子子のスコーピングを考えない場合に比べて曖昧さの問題は大きいといえよう。ここで気をつけなければならないのは、構文木だけで解析を止めなければ少なくとも間違った決定だけは避け得た

*「その方法が僕は正しいと思う。」という文の係り受けを考えてみると良い。

のに、スコーピングまで含めて一意に意味を決定しようとする、誤った解析結果を出力してしまう可能性が高いということである。もちろん、十分な背景知識があれば正しい決定ができるかもしれないが、そのようなことは極度に困難である。

4. で述べるように、自然言語の解析は、必要以上の決定はできるだけ止めておいて、決定が必要な時点で、利用可能な知識を動的に用いて処理するのが妥当であると考えられる。

自然言語処理システムの内部表現としては、どのようなアプリケーションに用いられるかによって、単純な構文木から非常に複雑な意味表現までさまざまなレベル（これを表示のレベル (level of representation) と呼ぶ）が要求される。一般に、表示のレベルが高度になって、より精密な意味を表現できるようになればなるほど、入力文からのマッピングは複雑になり、曖昧さの処理がより困難になる。

3. 選好に基づく曖昧さの解消

現在の人工知能あるいは自然言語解析の技術では、かなり分野を限定したとしても、その分野のあらゆる文の意味を一意に定めるのに必要十分な背景知識（あるいは文脈）をあらかじめ用意するのは不可能に近い。したがって、自然言語解析システムは、自分のもつ知識の範囲で可能な解釈（通常複数）を洗い出し、その中から状況に応じて最も適切と思われるものを選び出さなければならない。

ここでは、曖昧さの候補の中から適切なものを選び出す手法について解説する。

3.1 ヒューリスティックスとしての選好

文法的適格性とは異なった仕方での文の構造記述の選択に関係している知識がある。たとえば、“I saw a man with a telescope.” は、前置詞句の係り受けの曖昧さを含んでいるが、“see” と “telescope” の意味的親和性から、“a man with a telescope” より “saw with a telescope” の解釈が優先される。しかし、この情報は “a man with a telescope” の解釈（に対応する構造）を禁止するものではなく、文脈によってはこの解釈が正しい場合がありうる。このように、構造に対する厳密な条件ではなく、可能な選択肢の間にある種の優劣を与える情報を選好 (preference) と呼ぶ。

選好は、曖昧さの解消のために、厳密に形式化（抽象化）できないような、いわゆるヒューリスティックスを集めたものと考えられる。その中には、構文構造に関する簡単なものから、背景知識や文脈を考慮した複雑なものまでさまざまなものが提案されている。多くの場合、意味的知識はその領域依存性や文脈依存性を考えると選好（あるいは、選好の基になる情報）であると言えることができる。意味的知識は一般にあまり厳密ではなく、文法的知識ほどには強力ではないため、制約として用いるわけにはいかず、実際には、それは複数の構造になんらかの優先関係を設定する一つの指標、すなわち選好として用いる場合が多いのである。

選好には、構文構造に関する経験的知識のほか、人手で構築した知識に基づくもの、確率を用いたもの、既存の知識源（辞書やテキストなど）から半自動的に抽出したもの、人間の教示によるものなどがある。これは、最も研究が進んだ統計論からの副産物として、経験的に多くの場合役に立つ情報を選好として整理したものから始まったものであるが、1970年代中ごろの Wilks の研究⁴⁰⁾から、意味論的な立場に立った選好を用いるようになった。ただし、これは言語の使われる対象領域を十分検討して知識を構築する必要があったため、実用レベルに引き上げるのは容易ではなかった。そこで、そのような知識を比較的容易に構築する研究が盛んに行われた。その中には、現実に現れる文章を統計的に処理して、確率化した選好を用いるものや、より複雑な構造をもった知識を、計算機可読の辞書や粗く構文解析された文章を利用して獲得する研究も含まれている。この研究の流れは、現在も引き続いている。また、これとは異なる流れで、人間そのものを選好の知識源とするアプローチもなされるようになった。これは対話的にシステムを運用する場合に、最も有効なやり方である。このアプローチは、人間の知識を、曖昧さ解消にいかにか効率良く利用するかに焦点が当てられている。

3.2 さまざまな選好

3.2.1 構文構造に関する選好

日本語の場合のよく知られた選好としては、最長一致、文節数最小などの形態素解析に関するヒューリスティックスがある。係り受けに関して

は、より近い要素に係りやすいというのが一般的な選好である。この選好は、LR 法による解析において、reduce を shift に優先することに相当し、また、チャート法による解析においては、アジェンダからエッジ（項）を取り出す順序を、より近い要素をまとめ上げるように制御することによって実現できる⁴²⁾。日本語の場合は係り受けが文の後ろへ向かって起きるために、構文木としては左下がりの方ができやすい。英語の場合は、前置詞句は後ろから前の要素を修飾するために右下がりの構文木が多い。英語の構文的な選好としては、その他、*minimal attachment*（構文木のノードの数が少ないほうを優先する）、*lexical preference*（動詞、名詞などの共起のバイアスによる選好）、*referential success*（定名詞句などは、参照するものがすでに存在する解釈を優先する）などのヒューリスティックスが考えられている⁴³⁾。これらの知識は、単独で使うには非常に弱いものであるが、他の構文的・意味的な情報をすべて使っても曖昧さが解消できなかったときに、デフォルトとして使うには有効であると言えよう⁵⁰⁾。

3.2.2 人手で構築した知識に基づく選好

意味論的な立場に立った最初の選好は、人間によりあらかじめ組み込まれた領域依存な知識に基づいて曖昧な解釈の候補に優劣をつける、というものであった。これは、一般に、特定の曖昧性というより一文全体の解釈に対して選好が与えられるため、構文的な曖昧さと語彙的な曖昧さを同じ枠組で扱うことができる。

Wilks⁴⁸⁾の優先意味論 (preference semantics) では、意味テンプレートと呼ばれる語彙レベルの意味表現の間に張られるリンクの数によって、文の意味解釈の優先度が決められる。たとえば、“The big policeman interrogated the crook.” という文において、“crook” には「悪人」と「曲がったもの」の語義の曖昧さがある。このとき、意味テンプレート MAN-FORCE-MAN より、“interrogate” から “policeman” と “crook”（悪人）の間にリンクが張られる。また、“policeman” および “crook” から “interrogate” に対して、おのおのが “interrogate” のテンプレートに表わされている主語と目的語に制約（人間であること）を満たすという意味のリンクが張られる。また、別の意味テンプレート MAN-FORCE-THING より、“interrogate”

から “policeman” と “crook”（曲がったもの）の間にリンクが張られる。しかし、“interrogate” の目的語の要求しているものは、人間であって物ではないから、“crook” から “interrogate” へのリンクは張られない。このとき、“crook” を「曲がったもの」と解釈するテンプレートは、リンクが一本少ないので、「悪人」とする解釈が優先される。

Waltz と Pollack⁴⁷⁾の枠組では、意味ネットワークを、より粒度の細かい意味素性であるマイクロフィーチャーを媒介にしたコネクショニストネットワークで表現し、活性拡散（活性度の伝播による重みの計算）を用いて最終的に活性度の高い解釈を優先する。たとえば、“The astronomer married a star.” という文において、“star” の意味として、「星」と「映画スター」が考えられる。このとき、最初は “astronomer”（天文学者）と “star”（星）の間の強い依存性から、「星」の活性度が高くなるが、数サイクルの活性拡散の後に、活性度が安定してくるにつれて、今度は「映画スター」の活性度が相対的に高くなる。これは、人間がこの文を解釈するときにもみられる現象で、意味論的な迷路文 (semantic garden path sentence) と呼ばれている。

Hirst⁴²⁾は、語義の曖昧さ解消のために *Polaroid Word* という枠組を、構文的曖昧さの解消のために *Semantic Enquiry Desk* と呼ばれる枠組を提案した。*Polaroid Word* は、多義語の曖昧さを内包したフレーム表現であり、複数の *Polaroid Word* の間でマーカーパッシング³³⁾による情報交換を行いそれぞれのもつ語義の候補に優先性を与える。たとえば、“Nadia's plane taxied to the terminal.” のような文において、多義語である “plane”（「飛行機」、「平面」、「かな」の語義をもつ）、“taxi”（「タクシーで行く」、「滑走する」の語義をもつ）、“terminal”（「駅」、「空港ターミナル」、「端末」の語義をもつ）の *Polaroid Word* の間でマーカーパッシングが行われ、概念ネットワーク上の関係が探索される。このとき、「飛行機」と「滑走する」の間の関係、および「飛行機」と「空港ターミナル」の関係が見い出され語義の優先性が決まる。

Semantic Enquiry Desk は、*Polaroid Word* の情報のほかに構文的曖昧さの解消に関する選好 (lexical preference, presupposition, referential suc-

cess)を組み合わせて優先性を決めることができる。

3.2.3 確率に基づく選好

Fujisaki¹⁵⁾は、自然言語の文法を近似する確率的なモデルを提案した。そのモデルでは、トレーニングデータとしての例文を用いて特定の句構造の出現確率を計算し、それに基づいて句構造規則に対して条件付き確率を与えることができる。確率化された文法を用いると、解析木にその出現確率の相対比である相対確率を割り当てることができる。曖昧さが現われたときに、確率的尤度による順序づけをすることができる。

3.2.4 既存の知識源を利用した選好

Lesk²⁶⁾の提案した手法では、一文に含まれる語義の曖昧さを、辞書の定義文のオーバーラップの度合(重複する単語の数)の大きいものをとることによって解消する。たとえば、“pen”と“sheep”が同じ文に現われている場合、“pen”(動物の囲い)の定義文“an enclosure in which domestic animals are kept.”と“sheep”の定義文“There are many breeds of domestic sheep,...”の間に共通して現われる単語“domestic”が存在するが、“pen”(筆記具のペン)との間には、そのような単語がないために、“pen”を「動物の囲い」とする解釈が選択される。この手法は、一般の辞書を選好の知識源とすることができる。

Jensen と Binot¹⁶⁾は、同じく、オンライン辞書の定義文を選好の知識源とする手法を提案した。ただし、この手法では、優先度の計算にエキスパートシステムの確信度計算に似たヒューリスティックスを用いている。以下の例題は、前置詞句“with...”の係り先の曖昧さと“with”に関する格の役割の曖昧さ(case ambiguity)を含んでいる。

1. I ate a fish with a fork.

“with a fork”の係り先は“ate”で、“with”の意味はINSTRUMENT(道具を表わす深層格)になる。これは、“fork”の定義文に、“an instrument for eating food”という記述があり、(INSTRUMENT “eat” “fork”)という関係の確信度が高かったためである。

2. I ate a fish with bones.

“with bones”の係り先は“fish”で、“with”の意味はPART-OF(部分/全体関係)になる。これは、“bone”の定義文に、“a part of animal”とい

う記述があり、また“fish”の定義文に、“a kind of animal”という記述が含まれていたため、(PART-OF “fish” “bone”)という関係の確信度が高かったためである。

Veronis と Ide⁴⁶⁾は、辞書の見出し語と、その語義文を構成する単語間に自動的にリンクを張ってネットワークを構成する手法を提案した。曖昧な文と背景知識のネットワークの間でWaltzら⁴⁷⁾と同様に活性拡散を行って、重みを計算する。

Nagao⁴⁴⁾はDependency Analyzerと呼ばれるシステムを開発した。そのシステムでは、辞書の定義文や例文から、語間の類義関係、上位/下位関係、依存関係を半自動的に獲得し、その情報を用いて、局所的にバックされた構文的曖昧さの候補の優先度を計算している。

3.2.5 人間の教示による選好

曖昧さを人間の判断によって解消する場合に、人間から与えられる情報も一種の選好であると言える。これは、解釈の候補が複数現われたときに、人間を知識源として、候補のもっともらしさを比較することができるためである。

Brown と Nirenburg¹⁷⁾のAugmentorと呼ばれるシステムでは、フレームとしての意味表現に現われた意味的な曖昧さを、人間との対話に従って解消する。

Maruyama ら³⁰⁾の開発した機械翻訳のための対話的構文解析システムでは、日本語の文節間の係り受けの曖昧さを、人間が係り先を選択し、それに起因する制約をシステムが処理することで解消している。

3.3 制約と選好の統合的利用

これまで述べてきたように、制約は解釈に対する条件であり、条件を満たさないものを取り除く(あるいは、生成しない)ことができる。一方、選好は制約を満たしている可能な候補に優劣を付けることができ、最も適切な候補を選択することができる。これより、制約と選好をうまく組み合わせて用いることにより、曖昧さの解消をより効果的に行うことができる。

Tsujii ら⁴⁸⁾は、KGW+pと呼ばれるシステムにおいて、部分的な構文構造を組み立てる規則と、単語結合の意味的親和性や構造の出現頻度などの選好を統合的に利用して優先的な構文的解釈を生成している。KGW+pの構造組み立てモジ

ジュールは、局所的に可能な部分構造をすべて生成し、選好により優先度を計算するモジュールは、生成された構造を参照して、解析のパスの優先度を計算する。横型探索により探索されている複数の解析パスの間に有意な差が生じたときは、一部の解析パスを選択して以後の解析を行う。

Nagao³⁵⁾は、構文解析の結果として生成された、局所的に曖昧さをバックした構造に対して、曖昧さの候補の間に選好による優先度を割り当て、制約解消の枠組に優先順位による制御を加えたアルゴリズムにより曖昧さを解消する手法を提案している。

4. 曖昧さに対する新しい考えとその枠組

さて、今までは、自然言語のある表現が文脈によって異なる意味をもつこと（すなわち、言語の効率性）を、自然言語文のもつ「曖昧さ」として捉えてきた。たとえば、“I went to the bank.”という文の意味構造は、異なる（明示的な）意味表現 M_1 （「銀行に行った。」という解釈）と M_2 （「土手に行った。」という解釈）で与えられる、としていたのである。

ところが、1980年ごろになって、Kay²²⁾の Functional Unification Grammar から始まる一連の研究によって、文の複数の意味を単一のパラメトリックな構造で表わそうという動きが出てきた。つまり、“I went to the bank.”の意味構造は単一なのであるが、文脈 C をパラメータとして渡せるような $M(C)$ で表現することによって、文の効率性を説明するという立場である。

自然言語の解析は、ある部分的なデータ構造 ϕ を作る場所から始まる。解析が進むにつれて、 ϕ に情報が付加されていくが、一度付加された情報は、取り除かれることがない。このような性質を情報単調性 (information monotonicity) と呼ぶ。この命名は、 ϕ に情報が逐次的に追加されていくことによる。このような情報単調性の考えを実現するためには、パラメトリックな構造をどのように定義するかが最大の問題となる。つまり今までの解析によって決定したことを過不足なく表現できるようなデータ構造が必要である。以下、このようなデータ構造を用いた枠組をみていこう。

4.1 情報単調性のための枠組

4.1.1 素性構造と単一化

現在の計算言語学において最も一般的なデータ構造が素性構造 (feature structure) である。単一化 (unification) は素性構造に対する演算で、素性構造の構成要素間の制約の評価や値の共有などを扱う*。

単一化における論理変数を使うと、「まだ分かっていない」情報を記述することができる。たとえば、

```
[person : 3rd
 number : *]
```

という素性構造は number がまだ未定であることを示す。

素性構造の一つの重要な点は、情報の共有を許すことにある。たとえば、数や人称の一致を記述することができる。

この素性構造は、「number が sg か pl のいずれかの値しかとれない」という条件は表現していない。Karttunen¹⁸⁾は、素性構造の中に選言 (disjunction) を導入することによって、このような制約の表現を可能にした。

```
[person : 3rd
 number : {sg, pl}]
```

は、number の値が sg か pl であることを示す。

Kasper と Rounds¹⁹⁾はさらに一般的な選言を許した素性構造を提案したが、そのような素性構造同士の単一化²⁰⁾は NP 完全問題になってしまうので必ずしも得策ではない。一般に、記述力を高めると、それだけ選言の扱いが難しくなる。

4.1.2 制約プログラミング

Hasida⁹⁾は、論理プログラムとして表わされた一般的な選言的構造の処理に関して、制約の変換を用いた制約単一化 (constraint unification) と呼ばれる手法を提案している。cu-Prolog⁴⁴⁾は、制約単一化を Prolog に組み込んだ制約論理型プログラミング言語であり、素性構造に関する制約を扱うように拡張されている。選言的構造の単一化に関しては、ほかにも Carter²⁾ や Nakano³⁹⁾ らの仕事がある。

Maruyama²⁹⁾は、制約依存文法 (constraint dependency grammar) という枠組により、文解析を

* 詳しくは、本学会誌の解説（今村誠「素性構造の単一化」情報処理 Vol. 32, No. 10, pp. 1070-1078）を参照されたい。

整合ラベリング問題として定式化した。これにより、曖昧さを含む文構造を制約ネットワーク (constraint network)³²⁾として表わし、制約伝播 (constraint propagation)³⁷⁾によって解釈の候補を絞り込むことができる。

4.1.3 漸進的意味評価

Mellish³¹⁾は、漸進的評価 (incremental evaluation) と呼ばれる枠組を提案している。この枠組では、名詞句の指示対象の候補とそれに対する制約を保持して、名詞句に関する情報を漸進的に処理することによって、指示対象の同定を行う。

Okumura と Tanaka⁴⁰⁾は、増進的曖昧性解消 (incremental disambiguation) という枠組において、弁別の順序が固定されないように拡張された弁別ネットワークを用いて語義の曖昧さを表現し、情報が得られるごとに語義を詳細化していくという手法を開発した。

4.1.4 意味評価の遅延

Pereira と Pollack⁴¹⁾は、*least-commitment grammar* という文法により曖昧さを保持した構造を生成し、*conditional interpretation* と呼ばれる制約付きの意味解釈を求め、制約を遅延評価しながら解釈を確定していく手法を提案している。

また、意味合成の遅延 (delayed semantic composition) によって部分的な意味表現を含む依存構造を構成する手法^{36), 43)}が提案されており、さらに、Nagao³⁶⁾は、この構造に対して与えられる制約と選好を統合的に利用するアルゴリズムによって、内包した曖昧さを展開することなく解消する手法を提案している。

4.2 動的・部分情報問題としての自然言語処理

今まで、情報単調性を曖昧さを効率的に取り扱う手段として考えてきたが、そもそも情報単調性は自然言語処理にとって不可欠だとする立場もある。

人間なり機械なりの自律的エージェントが、文の意味を理解するのに、世界知識が必要であることは今まで議論した。しかし、理解しようとしているエージェント自身も世界の一部であるから完全な世界知識をもつことは不可能である。したがって、エージェントは文が与えられ、処理を途中まで進めてから初めて必要な知識を取りに行っていると考えられる。具体的には、構文解析をし

て、その結果に曖昧さがあれば、その原因に応じて異なる知識源から情報を引き出して使うということである。

このような問題の捉え方は、探索問題における一般的な問題の与えられ方、すなわち、

1. Find x such that $C(x)$. (与えられた制約 C を満たす解を求めよ。)

あるいは、

2. Minimize $f(x)$ such that $C(x)$. (与えられた制約 C を満たしながら、コスト関数 f を最小にする x を求めよ。)

とは本質的に異なる。制約だけに基づく構文解析問題は、1. の形の定式化になっているし、もし、おのおのの解釈について選好をコスト関数 $f(x)$ として計算できるならば、2. の形の定式化が可能である。しかし、ある解釈 ϕ_1 の選好が、たとえば、 ϕ_1 の内容だけで決まらずに、他の曖昧な解釈 ϕ_2 と比べることによって初めて決まる場合、2. の定式化はできない。

あるいは、 ϕ_1 の内容だけで原理的には計算可能なのであるが、あらかじめ f をルールやプログラムの形で表わしておくことが経済的に実現不能である場合もある。たとえば、「前足がぶちの犬を見た。」と、「弟がぶちの犬を見た。」という二つの文を与えられたとき、人はなんらかの基準によってそれぞれの正しい解釈を言い当てることができる（「前足は生き物ではないから、何かを見たりしない」など）。しかし、他の多くの文の曖昧性解消に必要な一般的な基準を十分に精密に説明することは非常に困難である（「生き物でないものは見ない、食べない、等々」と主張すると、「この車はガソリンを食う。」という文が説明できない）。

つまり、問題の答えの候補がいくつか並んでからならば、どれが答えかが分かる、というような都合主義的な問題が、自然言語解析なのである*。

ただし、この場合、大域的な解を並べないといけなければ *intractable* になってしまうので、内包的な解空間上で、利用可能な制約や選好をうまく

* このような都合主義的動的問題は、現実社会には多いように思える。靴を買いにデパートに行って、並んでいるものを見ればどれが欲しいかすぐ分かるが、どんな品物があるかも分からないうちに、「これこれこういうものを買ってきて欲しい」という完全なスペックを他人に手渡すのは至難の技である。

く組み合わせ、解を絞っていかねばならない。人間は、部分的な構文・意味・語用論的な制約および選好を同時に利用して、比較的小数の候補から解を選択できると思われるが、計算機上でこれに相当するような、制約や選好を動的に適用して解空間を狭める手段がなかったのである。

4.3 アブダクションによる自然言語処理

前節で述べたような動的・部分情報問題としての自然言語処理を論理+ α の一般的な枠組で扱う研究がいくつか行われている。そこでキーとなるアイディアはアブダクション(abduction)である*。アブダクションとは、部分的知識を用いて、与えられた現象の説明を導く推論形式で、必要に応じて仮説を立てて知識を拡張し、また仮説を動的に選択して評価する。まさに、これは動的で部分的な情報処理を行う枠組なのである。ただし、仮説の生成・選択は一般に論理の枠内では定式化するのが困難で、領域に依存したメタ手続きになることが多い。そのため、問題ごとにさまざまな定式化がなされている。

Hobbs ら¹⁴⁾は、文の解釈をその文が真であることの「最良の説明」として、その最良の説明を導くための推論手続きにアブダクションを用いている。Hobbs らの枠組は、一階論理に、最良の説明を選定する基準として、仮説コスト(assumability cost)と呼ばれるヒューリスティックなアナログ量を加えたものである。仮説コストは、説明を構成する各リテラルにあらかじめ割り当てられており、事実を構成するリテラルとの間で単一化を行うと、その値が減少する。説明中のリテラルの仮説コストの和が小さいほど、その説明は良い説明とみなされる。この仮説コストを最初どのように割り当てるかは、議論の余地が残されている。

Charniak と Goldman¹⁵⁾は、構文的・意味的曖昧さを一階論理とアブダクションを組み合わせた枠組によって扱っている。仮説の生成は、結論部に選言をもつ一階の公理を推論に用いることによって行われる。選言の各要素には、Hobbs らの仮説コストに似た確率値が与えられており、ベイズの定理によって結論としての仮説のもっともらしさが計算される。最も確率値の高い仮説を選択す

ることによって曖昧さの解消が行われる。

Nagao³³⁾は、多重世界モデル(Multi-World Model)と呼ばれる階層的論理システムを導入し、曖昧さによって得られた複数の仮説を異なる世界に置き、曖昧さのない文の解釈との論理的な整合性を考慮し、多重文脈における文脈の優先度を計算している*。この優先度は、事実や仮説の間の、論理的な依存の度合いに基づいて決定される。この優先度を談話の進行にともなって変化させることによって、信念の翻意などによる動的な意味解釈を扱っている。この場合、曖昧さは、決定する時点で最も優先的な文脈を選択することで解消される。

Hasida^{10), 11)}は、前述の制約単一化の拡張である依存伝播(dependency propagation)という手法を提案し、部分情報問題に対処している。その手法によって、制約プログラミングにアブダクションや活性拡散を統合している。

5. おわりに

以上、自然言語処理の重大な課題である曖昧さの扱いについて概観した。自然言語文を解析するための初期のアプローチでは、文法を詳細化したり、意味的な条件を加えたりする、いわば制約に基づく曖昧さの解消が行われていたが、その後、曖昧さの候補が現われてから状況に応じて適切なものを選択するという、いわば選好に基づく曖昧さの解消が行われるようになった。そして次第に、この問題の動的な性質が浮き彫りになってきた。そこで、情報単調性のような、動的問題に積極的に取り組む考えが現われ、そのための枠組がいくつか提案されるようになった。素性構造とその単一化は、現在では最も一般的な枠組であるが、さらに進んで、論理におけるアブダクションなどが重要な枠組として位置付けられるようになった。

本稿では取り上げなかったが、曖昧さの解消と構文的に不適格(ill-formed)な文の処理**とは密接に関連している。省略などを含む断片的な文や構文的制約を満たさない文などは、曖昧さをさらに複雑なものにする可能性があるからである。このような処理は当然、融合されるべきであるが、

* アブダクションについては、最近の非常によくまとまった解説(井上克巳「アブダクションの原理」人工知能学会誌 Vol. 7, No. 1, pp. 48-59)があるので、それを参照されたい。

☆ 多重文脈の扱いや文脈の優先度に関しては、Nagao と Osawa の論文³³⁾に詳しく述べられている。

** 本特集の松本氏の解説「頑健な自然言語処理へのアプローチ」で取り上げられている。

これは今後の課題になっている。また、曖昧さを処理するために十分な制約や選好などの知識を、どのように獲得するかは、やはりオープンな問題であり、今後も試行錯誤が繰り返されるであろう。しかし、それらの知識を利用する枠組（アーキテクチャ）と知識そのもの（コンテンツ）の問題は分けて考えるべきであり、本稿で述べたような枠組は、獲得した知識をどのように曖昧さの問題に適用するかに関して、重要かつ確かな示唆を与えてくれるであろう。

曖昧さの問題は、システムが処理する表示のレベルに応じて、いくらでも発生する。まだ完全にそれを克服するには至っていないのは事実であるが、革新的な進歩が遂げられたのは確かなようである。

参 考 文 献

- 1) Brown, R. and Nirenburg, S.: Human-Computer Interaction for Semantic Disambiguation, In *Proceedings of COLING-90* (1990).
- 2) Carter, D.: Efficient Disjunctive Unification for Bottom-Up Parsing, In *Proceedings of COLING-90* (1990).
- 3) Charniak, E.: A Neat Theory of Marker Passing, In *Proceedings of AAAI-86*, pp. 584-588 (1986).
- 4) Charniak, E. and Goldman, R.: A Logic for Semantic Interpretation, In *Proceedings of 26th Annual Meeting of ACL* (1988).
- 5) Chomsky, N.: *Syntactic Structures*, Mouton, The Hague, Holland (1957).
- 6) Church, K. and Patil, R.: Coping with Syntactic Ambiguity or How to Put the Block in the Box on the Table, *American Journal of Computational Linguistics*, Vol. 8, No. 3-4, pp. 139-149 (1982).
- 7) Earley, J.: An Efficient Context-Free Parsing Algorithm, *Communications of the ACM*, Vol. 13, No. 2, pp. 94-102 (1970).
- 8) Fujisaki, T.: A Stochastic Approach to Sentence Parsing, In *Proceedings of COLING-84* (1984).
- 9) Hasida, K.: Conditioned Unification for Natural Language Processing, In *Proceedings of COLING-86* (1986).
- 10) Hasida, K.: Sentence Processing as Constraint Transformation, In *Proceedings of ECAI-90* (1990).
- 11) Hasida, K.: Common Heuristics for Parsing, Generation, and Whatever..., In Strzalkowski, T. (ed.) *Reversible Grammar in Natural Language Processing*, Kluwer (1992).
- 12) Hirst, G.: *Semantic [Interpretation and the Resolution of Ambiguity]*, Cambridge University Press (1987).
- 13) Hobbs, J.R. and Shieber, S.: An Algorithm for Generating Quantifier Scopings, *Computational Linguistics*, Vol. 13, No. 1-2 (1987).
- 14) Hobbs, J.R. et al.: Interpretation as Abduction, In *Proceedings of 26th Annual Meeting of ACL*, pp. 95-103 (1988).
- 15) Hobbs, J.R. and Bear, J.: Two Principles of Parse Preference, In *Proceedings of COLING-90* (1990).
- 16) Jensen, K. and Binot, J.-L.: Disambiguating Prepositional Phrase Attachments by Using On-Line Dictionary Definitions, *Computational Linguistics*, Vol. 13, No. 3-4 (1987).
- 17) Kaplan, R.M. and Bresnan, J.: Lexical-Functional Grammar: A Formal System for Grammatical Representation, In Bresnan, J. (ed.) *The Mental Representation of Grammatical Relations*, MIT Press (1982).
- 18) Karttunen, L.: Features and Values, In *Proceedings of COLING-84* (1984).
- 19) Kasper, R. and Rounds, W.: A Logical Semantics for Feature Structures, In *Proceedings of 24th Annual Meeting of ACL* (1986).
- 20) Kasper, R.: A Unification Method for Disjunctive Feature Descriptions, In *Proceedings of 25th Annual Meeting of ACL* (1987).
- 21) Katz, J. and Fodor, J.A.: The Structure of Semantic Theory, *Language*, Vol. 39 (1963).
- 22) Kay, M.: Parsing in Functional Unification Grammar, In Dowty, D. et al. (eds.) *Natural Language Parsing*, Cambridge University Press (1985).
- 23) Kittredge, R.: The Significance of Sublanguage for Automatic Translation, In Nirenburg, S. (ed.) *Machine Translation: Theoretical and Methodological Issues*, Cambridge University Press (1987).
- 24) Knuth, D.E.: On the Translation of Languages from Left to Right, *Information and Control*, Vol. 8 (1965).
- 25) Kuno, S.: The Augmented Predictive Analyzer for Context-Free Languages and its Relative Efficiency, *Communications of the ACM*, Vol. 9, No. 11 (1966).
- 26) Lesk, M.: Automatic Sense Disambiguation Using Machine Readable Dictionaries: How to Tell a Pine Cone from an Ice Cream Cone, In *Proceedings of ACM SIGDOC Conference* (1986).
- 27) Mackworth, A.K.: Consistency in Networks of Relations, *Artificial Intelligence*, Vol. 8, pp. 99-118 (1977).
- 28) Martin, W., Church, K. and Patil, R.: Preliminary Analysis of a Breadth-First Parsing Algorithm: Theoretical and Experimental Results, MIT/LCS/TR-261 (1981).
- 29) Maruyama, H.: Structural Disambiguation with

- Constraint Propagation, In *Proceedings of 28th Annual Meeting of ACL* (1990).
- 30) Maruyama, H. et al.: An Interactive Japanese Parser for Machine Translation, In *Proceedings of COLING-90* (1990).
- 31) Mellish, C.: *Computer Interpretation of Natural Language Descriptions*, Ellis Horwood (1985).
- 32) Montanari, U.: Networks of Constraints: Fundamental Properties and Applications to Picture Processing, *Information Sciences*, Vol. 7, pp. 95-132 (1974).
- 33) Nagao, K.: Semantic Interpretation Based on the Multi-World Model, In *Proceedings of IJCAI-89* (1989).
- 34) Nagao, K.: Dependency Analyzer: A Knowledge-Based Approach to Structural Disambiguation, In *Proceedings of COLING-90* (1990).
- 35) Nagao, K.: Constraints and Preferences: Integrating Grammatical and Semantic Knowledge for Structural Disambiguation, In *Proceedings of PRICAI-90* (1990).
- 36) Nagao, K.: A Preferential Constraint Satisfaction Technique for Natural Language Analysis, In *Proceedings of ECAI-92* (1992).
- 37) Nagao, K. and Osawa, E.: A Logic-Based Approach to Plan Recognition and Belief Revision, *Technical Report*, SCSL-TR-92-007, Sony Computer Science Laboratory Inc. (1992).
- 38) Nakamura, J. and Nagao, M.: Extraction of Semantic Information from an Ordinary English Dictionary and its Evaluation, In *Proceedings of COLING-88*, pp. 459-464 (1988).
- 39) Nakano, M.: Constraint Projection: An Efficient Treatment of Disjunctive Feature Descriptions, In *Proceedings of 29th Annual Meeting of ACL* (1991).
- 40) Okumura, M. and Tanaka, H.: Towards Incremental Disambiguation with a Generalized Discrimination Network, In *Proceedings of AAAI-90*, pp. 990-995 (1990).
- 41) Pereira, F. C. N. and Pollack, M. E.: Incremental Interpretation, *Artificial Intelligence*, Vol. 50, pp. 37-82 (1991).
- 42) Shimazu, A.: Japanese Sentence Analysis as Argumentation, In *Proceedings of COLING-90* (1990).
- 43) Takeda, K. et al.: Shalt 2—A Symmetric Machine Translation System with Conceptual Transfer, In *Proceedings of COLING-92* (1992).
- 44) Tsuda, H., Hasida, K. and Sirai, H.: JPSG Parser on Constraint Logic Programming, In *Proceedings of 4th European Chapter of ACL* (1989).
- 45) Tsujii, J. et al.: How to Get Preferred Readings in Natural Language Analysis, In *Proceedings of COLING-88* (1988).
- 46) Veronis, J. and Ide, N.: Word Sense Disambiguation with Very Large Neural Networks Generated from Machine Readable Dictionaries, In *Proceedings of COLING-90* (1990).
- 47) Waltz, D. and Pollack, J.: Massively Parallel Parsing: A Strongly Interactive Model of Natural Language Interpretation, *Cognitive Science*, Vol. 9, pp. 51-74 (1985).
- 48) Wilks, Y.: A Preferential, Pattern-Seeking, Semantics for Natural Language Inference, *Artificial Intelligence*, Vol. 6, pp. 53-74 (1975).
- 49) Winograd, T.: *Understanding Natural Language*, Academic Press (1977).
- 50) Whittemore, G., Ferrara, K. and Brunner, H.: Empirical Study of Predictive Powers of Simple Attachment Schemes for Post-Modifier Prepositional Phrases, In *Proceedings of 28th Annual Meeting of ACL* (1990).

(平成4年3月26日受付)



長尾 隆 (正会員)

1962年生。1985年東京工業大学工学部卒業。1987年同大学総合理工学研究科修士課程修了。1987年4月より1991年3月まで、日本アイ・ビー・エム(株)東京基礎研究所において、自然言語処理、機械翻訳の研究に従事。1991年4月より、(株)ソニーコンピュータサイエンス研究所において、自然言語対話システムの研究に従事。訳書に「決定不能の論理パズル—ゲーデルの定理と様相論理」(R. スマリヤン著、白揚社、1990年)がある。日本ソフトウェア科学会、ACL 各会員。



丸山 宏 (正会員)

1958年生。1981年東京工業大学理学部情報科学科卒業。1983年同大学院修士課程修了。同年日本アイ・ビー・エム(株)入社。東京基礎研究所に勤務。自然言語理解、論理型言語、日英機械翻訳の研究に従事。