

自然言語の生成性について

A New Look at the Generative Nature of Natural Language

麻生 英樹^{*1}
Hideki ASOH

^{*1} 独立行政法人産業技術総合研究所
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

The most prominent nature of natural language is its very powerful generative ability. There have been proposed many approaches to capture and formulate the power of creating new sentences. However, most of them are closed within the world of the linguistic symbols, and the relationship between linguistic information processing and cognitive information processing has not been investigated deeply. In this paper, from a viewpoint of integrating linguistic symbols and human cognition, based on a semantic representation framework which can intermediate them, we discuss how the generative nature of natural language can be partly reduced to the generative nature of human cognition.

1. はじめに

自然言語処理, すなわち, 自然言語に内在する規則性を探るとともに, その処理が人間の脳内でどのように実現されているかを解明し, 人間と同様に流暢な自然言語の理解や生成を機械によって実現することは, 人工知能研究におけるグランドチャレンジの一つだが, 未だに完全には解決されていない. 実用的な意味では, 大規模コーパスに基づく統計的な自然言語処理が盛んになり, 様々なテキスト分析が日常的に行われるようになってはいるが, それらによって, 人間の自然言語処理能力の本質が解明されたわけではない.

自然言語の最大の特徴は, その豊かな生成性にある. すなわち, 表現対象が実質的に無限のバリエーションを持つことに対応して, 多様なバリエーションを持つ表現を生成できることである. 自然言語の生成性をどのように捉えて, どのように特徴づけるかは, 言語学および自然言語処理の最も基盤的な課題の一つである.

自然言語の生成性の源をどこに求め, どのように定式化, モデル化するかをめぐっては, これまでにいろいろなアプローチが提案されてきた. Chomsky に始まり, その後大きく発展した変形生成文法においては, 表層文に近い統語構造が主たる生成性を担うとし, その生成規則=文法規則を句構造規則によって定式化しようとしてきた. Lakoff らの生成意味論 (generative semantics) においては, 表層構造よりも深層にある意味構造が生成性を担い, そこからの変形操作によって表層構造が生成されるとされた. 統語構造に生成性を担わせ, 意味構造はそれを解釈するものとする解釈意味論 (interpretive semantics) との間の論争は, 言語学戦争 (linguistic war) と呼ばれたが, 言語現象の説明力の差によって, 解釈意味論側が勝利したと言われている [松浪 1983].

その後, 変形に頼らずに, 内部構造を持たない記号を使った句構造規則による文法記述の限界を超えるため, 語彙記号に豊富な構造を持たせる語彙化文法が数多く提案された. たとえば, 主辞駆動句構造文法 (Head-driven Phrase Structure Grammar: HPSG) では, 語彙は統語的情報と意味的情報の両方を含んだ複雑な素性構造で表現され, 主にその構造に基づいて自然に組み合わせられることで多様な文が生成される

[Pollard 1994, Sag 2003]. また, Pustejovsky は語彙の持つ生成性や compositionality を重視する語彙意味論の立場をさらに拡張して, generative lexicon という考え方を提唱し, 単語の意味の合成における複雑な現象を取り扱っている [Pustejovsky 1995, 小野 2005]. 変形生成文法からスタートした Jackendoff は, 徐々に独自の立場へとシフトしてゆき, 音韻構造, 統語構造, 意味構造の3つの心的構造を並立させて, それぞれが生成性を持ちつつ, 語彙を通じて相互に変換されるという仮説を唱えている [Jackendoff 1997, 2002, Culicover 2005].

このように, 言語の生成性をめぐって様々なアプローチが提唱されているが, それらに共通する問題点は, それらのモデルが言語に閉じている, すなわち, 文法的あるいは意味的に正しい文を観察データとして, それを説明するような生成モデルを構築しているという点である. しかし, たとえば Jackendoff も指摘しているように, 言語は, 視覚, 聴覚, 嗅覚等の感覚モダリティを使った世界認知過程とも深く関係しているものであり, 言語の生成性について考察する場合にも, 本来は, そうした認知過程との関係の中で検討することが望ましい. しかし, 現実には, そうした方向での詳細な検討はこれまであまり行われてきていない.

一方, 認知言語学 (cognitive linguistics) においては, 言語処理過程と認知過程の関係が強く意識されており, そうした中で, Langacker らによる認知文法 (cognitive grammar) などの文法理論が生み出されているが, 逆に, そこでは, 多様な表層表現をカバーするような自然言語の生成規則=文法のフォーマルな記述や処理システムとしての実装がそれほど重視されていないような印象がある [Taylor 2002, Langacker 2008].

本稿では, 認知言語学と同様に, 言語記号の世界に閉じるのではなく, 実世界に接地され (grounded), 埋め込まれた (embedded) 形で, 変形生成文法や語彙化文法と同様に, 多様な表層言語表現の生成・理解のフォーマルで実装可能なモデルを構築するという問題について検討し, 言語の生成性の大部分が, 現実世界とそれを写し取った認知構造に由来する可能性を示すとともに, それが自然言語の処理や獲得の理論に与える影響について述べたい.

2. 言語に関連する心的構造と情報処理過程

言語の最も典型的な使用状況のひとつとして, 目で見ているものを言語にする, あるいは逆に, 言語で言われたものを目で見ているものときあわせて理解する場合をとりあげる. このとき,

一連の心的情報処理にかかわる心的情報構造および、それらにかかわる情報処理としてどのようなものを想定すればよいかは、非常に大きな未解決課題であるが(それゆえにこそ、言語に閉じた理論の研究が進められてきているのではあるが)、本稿では以下のような立場を取る。

まず、網膜上の視覚情報からはさまざまな局所の特徴がその空間的位置とともに、場所に関して並列的に抽出されるだろう。その次の段階として、それらの局所の特長を Object, Event に取りまとめることや、Object 間、Object と Event 間、Event 間の関係にとりまとめる処理が行われる。この結果として、ある瞬間における無意識的な外界の認知状態に対応するような認知構造が生成されると考えられる。ここで注意すべきことは、これらの取りまとめられた認知構造内には既に概念と概念間の依存関係が含まれているということである。たとえば、ある物体は、別の物体を部分として内包し、それぞれの物体は色、形などの属性を内包する。即ち、認知構造とは視野内に存在する非常に多数の概念とそれらの間の関係の束、ネットワークであると考えられる。局所の特長がどのようにして複雑な概念関係にまとめられるかは、いわゆる binding 問題を含むプロセスであり、解明されていないが、認知者の使用する言語とも深くかかわっている。

そうした無意識的な認知構造の中から、さらに、文脈や注意に即して、ひとつの文で言語化する部分構造が抽出されると考えられる。同時に、視点や主題等に即して節構造や主語の選択も行われ、その結果として、発話の元となる意味構造が得られる。意味構造に節構造等の情報を含めるべきか否かはわからないが、表層文生成のいずれかの段階で導入される必要があるものであり、以下では意味構造に含めることとする。

意味構造は認知構造に内在する概念間の依存構造をベースとするものであり、依存構造木のような構造体である。それが、統語概念とそれらの間の関係を記述した文法知識を使って、表層文構造=統語構造、すなわち、線形な単語系列に変換されると考えられる。さらに、音韻化規則によって音韻構造が得られて、最終的な発話音声となる。

一方、言語を理解し、認知構造とつきあわせる過程は上記の逆過程であり、音声から音韻構造を経て統語構造が得られ、それがさらに意味構造に変換されて、認知構造とつきあわせられると考えられる。

本稿では、上記のような心的構造およびそれらを用いた情報処理過程の全体像を背景として、それらのうち、認知結果と言語情報のインタフェースを司る意味構造と統語構造およびそれらの間の相互変換に焦点をあてて、言語の生成性を人間の認知の生成性によって説明するモデルを示してゆく。

3. 概念間依存構造の表現

われわれは、既に、言語記号に閉じない立場から、同義表現を意味構造推定の手がかりとしつつ、感覚情報との変換と表層表現との変換の両方を考慮した意味表現を提案するとともに[麻生 2008a, 2010], それを用いて視覚情報を多様な文体で言語化するシステムを構築してきた[野口 2010]. この意味表現形式の特徴は、

- 表現の多様性に対処するため、プリミティブ概念を用いて、概念とその間の依存関係を単語よりも精細なレベルで詳細に表現する
- 概念間の依存関係をプリミティブ概念の隣接接続関係として素直に表現する
- 表現中の節構造のまとまりを明示する

という点である。

プリミティブ概念としては、以下のようなものを用意する。

- (1) 実体概念 ○
「もの」とその部分
- (2) 属性概念 ○
「色」、「形」、「大きさ」、「速度」、「方向」など
- (3) 値概念, 具体値 [値]
「赤」、「円形」、「40 pixel/sec」など、「色相」、「形」、「速度」等の属性概念が取る値
- (4) 現象概念 ◎
「存在する」、「内包する」、「等しい」、「変化する」などの基本的な現象
- (5) 代名詞, 代動詞概念 ● など
実体・属性概念と等値される代名詞概念, 現象概念と等値される代動詞概念
- (6) 格概念 → + 格の名前
「主格」、「対象格」、「時間格」、「場所格」など、現象とそれに参画する実体との関係を表す概念
- (7) 接続助詞概念 ←→
現象間の関係を表す概念

これらの概念を下記のように相互接続することで、複雑な意味表現を構成することができる:

- 実体概念, 属性概念は、現象概念と格概念を介して接続することができる。
- 現象概念は、現象概念と接続助詞概念を介して接続することができる。
- 代名詞概念は照応先の実体概念, 属性概念と=で接続することができる。
- 複数の現象概念を含む場合、従属節のまとまりを()で囲んで表示する。

この概念間依存構造表現を用いて、視覚情報の認識結果の中の言語化する部分を表現することができる。図1に概念間依存構造表現の例を示す。この概念間依存構造は、視野内の一つの物体(物体1)に関して、

色を内包し、色が色相を内包し、
その色相の値が[赤]に等しい(一番目の枝)
形を内包し、その形の値が[四角]に等しい(二番目の枝)
存在する位置が[Y軸]に沿って、
[+]に等しい方向に向かって、
[5 pixel/sec]に等しい速度で変化している(三番目の枝)
という情報を表している。

このように、プリミティブ概念を用いて細粒度で記述することと、概念間の依存関係を隣接関係として素直に表現することにより、以下に述べるような、単純な変形規則による概念間依存構造表現の変形操作や多様な表層文との対応づけを可能にしている。

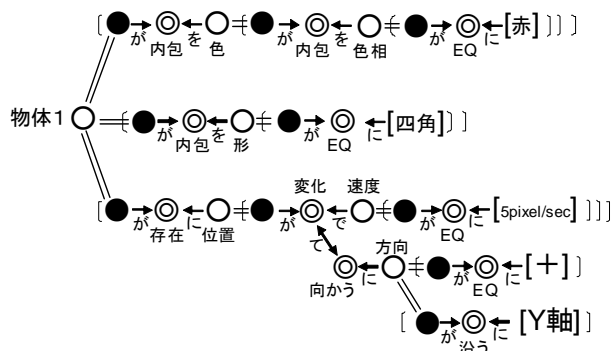


図1 概念間依存構造表現の例

4. 言語の生成・理解・獲得のモデル

前節で述べた概念間依存構造表現と「赤い四角いものが上に向かって移動する」というような表層文の対応づけは以下のように行われる [麻生 2010]:

まず、節構造の変換のために必要に応じて概念間依存構造表現を変形する(図2). 同じ表現形式で表された語彙知識を用いて概念間依存構造表現を単語分割してゆく(図3)ことで、単語レベルの依存構造木(図4)が得られる. さらに、語順に関する文法知識を用いて依存構造木を単語列に変換することで表層文が得られる.

この考え方に従えば、自然言語の生成性は大きく二つの部分に分けられることになる. すなわち、語彙知識から単語レベルの依存構造木を生成する部分の生成性と、単語レベルの依存構造木から単語列を生成する部分の生成性である.

前者である語彙の意味から文の意味を構成するための生成規則は非常に単純である. すなわち、語彙と語彙はその内部構造の持つ共通部分を糊しろとして接続される、ということである. 言い換えれば、物質において原子と原子、分子と分子の接続可能性がその内部構造によって決まっているように、語彙の内部構造さえ決まってしまうと、どの語彙と語彙が接続され得るかも決まると考えている. この意味で、我々のモデルは、用いている意味表現形式の違いを別にすれば、語彙意味論のアプローチや Jackendoff のアプローチと親和性が高い.

それでは、生成性の源となる語彙の内部構造はどのようにして得られるのだろうか? この点に関しては、[麻生 2008b]でも述べたように、多数の認知構造を抽象化することによって獲得され

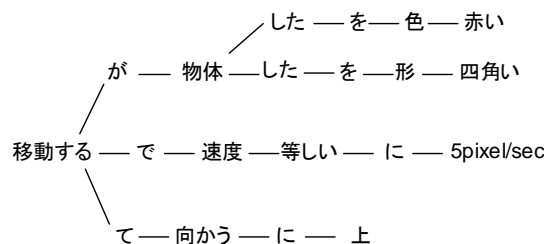


図4 単語間依存構造木の例

ると考えている. すなわち、認知言語学と同様に、言語化以前の認知構造に、語彙の内部構造の源があると考えられる. もちろん、現実に認知可能ではない空想的、抽象的な Object や Event も存在する. そうした語彙の内部構造については、認知構造から基本的な語彙が獲得された結果、それらを抽象した典型的な構造が学習され、そのテンプレートを用いることで、今度は逆に言語表現から抽象的語彙が獲得される、と考えている.

ここでテンプレートと言っているものは、語彙間の接続関係を定めるものであり、ある種の統語的範疇に対応すると考えられる. すなわち、品詞のような抽象的な範疇もまた、基本的には語彙の内部構造に由来すると考えている. すなわち、ある語彙がある品詞であるのは、その語彙の表現中にたとえば「名詞」という記述があるからではなく、その語彙の構造自体が名詞としての振舞いを示すものであることによる. これは例えば、ある元素が「希ガス族」の性質を示すのは、その元素の電子配置に由来するということに喩えられる.

このように、文の意味表現およびそこから得られる単語間の依存構造の生成性は現実世界の豊かさに支えられた語彙のもつ豊富な内部構造をベースに説明される. その様子は、○, ◎, →などを構成要素である素粒子として、語彙に対応する原子や分子が生成され、原子や分子同士の性質に基づいてさらに大きな分子が生成されるように、多様な文の意味表現が生成される、という形で、素粒子に基づく多様な物質の生成に喩えることができる.

一方、意味構造は依存関係を表現した木構造であり、そのままでは音声化することができない. そこで、木構造と一列の単語列との間を相互に変換する必要がある. このためには、言語ごとに異なる文法知識が適用される. この立場は、HPSG などと同様に、文や節に対応する複数の語彙のまとまりを構成するための生成規則と、単語列を生成するための生成規則とを区別するものである. そして、前者は普遍文法に属し、後者は言語個別の文法に属すると考える.

このように、認知構造との関係の中で、二つの生成性を分けて考えることによって、変形生成文法のように言語に閉じた立場で両方を一緒に考える場合に較べて、問題が単純化されると期待している. 前者の生成性については、その大半を、実世界を認知した結果の構造の豊かさに帰着させることができる. また、後者の生成性、すなわち、依存関係木と単語列の間の変換については、文の聞き手が単語列から元の依存関係木を復元できる範囲であれば、かなりの自由度があると考えられる. 従って、語順を決定する規則は、決定的なものではなく、[Culicover 2005]などにも述べられているように、ある種の評価関数に従う制約充足のようなゆるやかなものになると考えられる. さらに、その変換過程は文単位に閉じるわけではなく、文脈依存な表現選択や語の省略と照応による復元なども含まれることになるだろうし、最終的にはイントネーションのような音韻的な表現も含めた形になると考えられる.

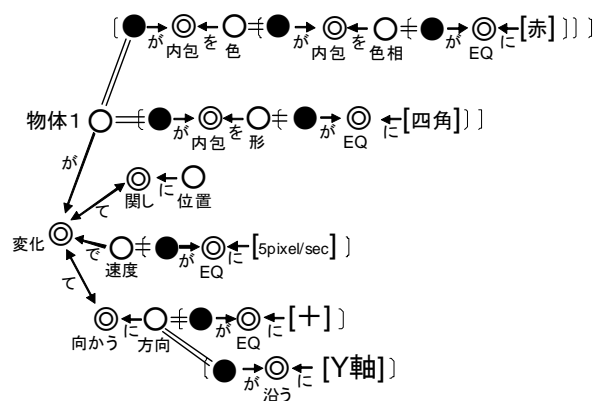


図2 依存構造変換後

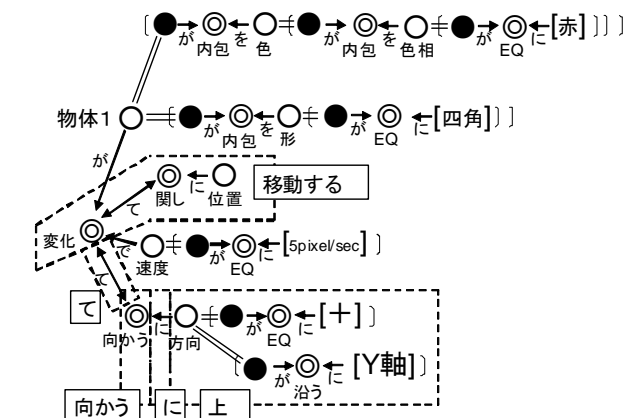


図3 単語分割の例

5. まとめと今後の課題

認知言語学のように、人間の言語操作能力と認知能力を統合的に扱う立場から、依存関係をベースとして語彙の内部構造を詳細に表現にする意味表現に基づいて、言語の豊かな生成性を、意味構造や依存構造木の生成性と、単語列の生成性に分けて議論するための枠組みを提案した。また、その枠組みの下で、言語の生成、理解、獲得を説明するための理論の概要を示した。

本稿で提示したものは極めてラフなスケッチであり、今後の課題はたくさんあるが、第一には、より多くの文、具体的な言語現象に即して提案したアプローチの適用可能性を検証することが挙げられる。現在までに、各種の名詞句・節、自動詞文、断定文などの分析に適用してきているが、今後は、より複雑な内部構造を持つ他動詞、さらには名詞化動詞を用いた高階の表現などについても検討してゆく必要がある。

2節で概要を示した認知過程と言語処理過程についてもまだまだ不明確な点が多く存在する。近年、脳内の言語処理過程について、fMRI等の計測方法を用いた研究が盛んに行われているが、多様なクラスの文の生成・理解過程における脳活動を計測してその差を見る、などの形で、脳内の言語処理過程研究とも連携してモデルをより精緻にしてゆく必要がある。

より深い課題としては、形式意味論との関係づけと、そこでの成果の取り込みが挙げられる。形式意味論では、文の意味の間の論理的関係(含意等の関係)を説明するために、論理式をベースとする意味表現形式を用いて言語の意味を記述する。それとともに、単語間の接続を意味表現間の関数適用ととらえて、範疇文法や組み合わせ範疇文法などを用いて意味の合成と単語の接続をパラレルに説明している [Portner 2002, 戸次 2010]。

論理的関係とはすなわち集合的關係であり、我々の意味表現に最も欠けているものの一つである。たとえば、三台の車と言うときに、車に対応する意味構造が3つ生成されるのだろうか？さらに、すべての車、ある車、などの限量的な表現はどのような意味表現に変換されているのだろうか？否定表現についても同様の難しさがある。こうした点については、形式意味論における成果の蓄積を我々の理論に導入してゆくことが本質的に重要であると考えている。

ここで提案したような全体的枠組みの下で、現在それぞれ個別に発展している言語学研究、自然言語処理研究、脳科学研究がより深く連携することによって、人間の言語生成・理解過程の解明が進むとともに、人間と同様に言語を獲得し、言語を流暢に操ることができるシステムが実現することを願ってやまない。

謝辞

本稿の内容は、高木朗氏、放送大学三宅芳雄教授、静岡大学近藤真教授、お茶の水女子大学小林一郎教授、戸次大介准教授をはじめとして多くの方々との議論に基づいている。いつも議論してくださる方々に謹んで感謝の意を表します。

参考文献

- [麻生 2008a] 麻生英樹, 伊東幸宏, 高木朗: 言い換えに適した意味表現について, 第 22 回人工知能学会全国大会, 1F2-03, 2008.
- [麻生 2008b] 麻生英樹, 伊東幸宏, 高木朗: 言語獲得に適した意味表現について, 第 22 回人工知能学会全国大会, 3E3-03, 2008.
- [麻生 2010] 麻生英樹, 野口靖浩, 高木朗, 小林一郎, 近藤真, 三宅芳雄, 岩橋直人, 伊東幸宏: 視覚情報から多様な言語

表現を生成するための意味表現形式, 第 24 回人工知能学会全国大会, 2G1-OS3-7, 2010.

[戸次 2010] 戸次大介: 日本語文法の形式理論, くろしお出版, 2010.

[Culicover 2005] Culicover P. W. and Jackendoff, R.: *Simplex Syntax*, Oxford University Press, 2005.

[Jackendoff 1997] Jackendoff, R.: *The Architecture of Language Faculty*, MIT Press, 1997.

[Jackendoff 2002] Jackendoff, R.: *Foundation of Language*, Oxford University Press, 2002. (郡司訳「言語の基盤」, 岩波書店, 2006.

[Langacker 2008] Langacker, R. W.: *Cognitive Grammar, A Basic Introduction*, Oxford University Press, 2008.

[松浪 1983] 松浪有, 池上嘉彦, 今井邦彦編: *大修館英語学辞典*, 大修館書店, 1983.

[野口 2010] 野口靖浩, 麻生英樹, 高木朗, 小林一郎, 近藤真, 三宅芳雄, 岩橋直人, 伊東幸宏: 視覚情報から言語を生成するシステムの試作とその生成文の評価, 第 24 回人工知能学会全国大会, 2G1-OS3-8, 2010.

[小野 2005] 小野尚之: *生成語彙意味論*, くろしお出版, 2005.

[Pollard 1994] Pollard, C. and Sag, I. A.: *Head-Driven Phrase Structure Grammar*, The University of Chicago Press, 1994.

[Portner 2002] Portner P. and Partee, B. H. (eds.): *Formal Semantics, The Essential Readings*, Blackwell Publishing, 2002.

[Pustejovsky 1995] Pustejovsky J.: *The Generative Lexicon*, MIT Press, 1995.

[Sag 2003] Sag, I. A., Wasow, T., and Bender, E. M.: *Syntactic Theory, A Formal Introduction (2nd Edition)*, CSLI Publications, 2003.

[高木 1987] 高木朗, 伊東幸宏: *自然言語の処理*, 丸善, 1987.

[Taylor 2002] Taylor, J.: *Cognitive Grammar*, Oxford University Press, 2002 (瀬戸訳: *認知文法のエッセンス*, 大修館書店, 2008).