

## 超並列制約伝播による主辞駆動型自然言語処理

吉米地 英 人\*

## 1. はじめに

人工知能における超並列処理が、近年話題を呼びつつあるが、一般にハードウェアの超並列化の話題が先行し、ソフトウェアならびに認知理論レベルでの議論は、あまりなされていないようである。これは特に、超並列マシンの個々のアーキテクチャが、処理可能な理論の限界を定義してしまうために、マシンアーキテクチャだけが、技術的な理由により一人歩きしてしまう可能性が強く、問題を含んでいる。超並列処理において、マシン設計時点で処理される知能処理の姿を明確にする必要が強いのは、通常のノイマン型マシンのように、ソフトウェアの処理レベルを、ハイレベルに維持する事が難しく、マシンアーキテクチャに従ったプログラミングが必要となり、処理可能なモデルそのものが、マシンアーキテクチャにより限定されてしまうからである。例えば自然言語処理のように、抽象度の高い知能処理を行う場合には、超並列処理ユニット間の情報伝達量が大きくなり、通常のSIMDアーキテクチャでは無理があるし、また、意味論と統語論を融合した認知モデルを前提とすると、グローバルな高速メモリアクセスが重要となり、現在の疎結合型の超並列アーキテクチャでは、処理が十分にできないという問題がある。一般に、現在製品化されているレベルの超並列マシン（例えばコネクションマシンなど）のアーキテクチャでは、スケールアップしたとしても、十分な知識処理、自然言語処理は不可能であろう。また、超並列処理の認知モデルレベルでの議論がなされる場合でも、実際の処理を、超並列マシンで行うことが、単なる処理速度の向上につながるのみの場合と、理論の実現、検証そのものが、超並列マシンを利用しなければ不可能な場合とがあり、認知理論レベルでの超並列性の特徴を明らかにする必要がある。とくに、自然言語などの理論においては、処理が本質的に超並列的であるべき部分と

そうでない部分が、明確になっていないものが多く、また超並列的であるべきであると主張されている理論においても、プロセッシングユニットのグレイン（処理単位）の大きさ、ユニット間でやりとりされる情報量などが、明解でないことが多いようである。また例えばニューラルネットのように、本質的にはニューロンのレベルで超並列的であるとはいっても、実質的にはグレインサイズが極めて小さく、また各層間の情報伝達がシリアルなため、ユニットごとの超並列処理では、ユニット間コミュニケーションのオーバーヘッドの方が大きくなってしまい、かえって並列度のあまり高くないベクトル処理を行うなり、専用チップを設計するなりした方が適しており、またコストパフォーマンスも優れているものもある。ただ、自然言語のように、ある程度抽象度の高い制約を扱う場合においては、理論のベースが超並列的な場合、シリアルマシンで扱うには限界があり、超並列的な処理を行わないと、満足な仮説検証ができないものもある。これは、自然言語のような知能処理では、理論のベースが記号的であり、処理のユニットが大きくなるため、単なるベクトル処理では、実現が難しいということと、談話の状況などを含めた意味論、語用論処理まで融合的に行おうとする場合、極めて多数の制約が、グローバルな整合性なく、同時平行的に適用されるため、シリアルなアーキテクチャでは、シミュレーションさえ満足にできないことによるからである。従って本稿では、超並列自然言語処理に話題を絞り、この中で必要となってくる処理の超並列性と、その特徴について述べる。さらに、すでに提唱されている超並列自然言語処理のモデルを具体的に紹介し、その実現に必要なとなってくるアーキテクチャの前提条件と問題を考察する。また、現在のモデルの問題点を解決する、新たな超並列自然言語処理の考え方を紹介する。また超並列自然言語処理の将来についても言及する。

## 2. 自然言語処理の制約的特徴（歴史的背景）

## 2.1 統語論的制約処理の特徴

伝統的な自然言語処理には、大きくわけて二つ部分が

\* カーネギーメロン大学

Key Words : massive-parallelism, NLP, head-driven, graph, unification.

ある。一つは統語論的処理、もう一つは意味論的処理である。それぞれ先駆的な研究を残したのが、統語論ではチョムスキー (Norm Chomsky)<sup>20-28</sup>、意味論ではシャンク (Roger Schank)<sup>24-26</sup> である。チョムスキー、シャンクそれぞれの研究成果が、現在の統語論的自然言語処理と、意味論的自然言語処理の二つの潮流を生み出すに至っている。チョムスキーの自然言語研究が残した最大の貢献は、自然言語現象の統語論的側面に分析を絞ることにより、言語間を越えて適用可能な普遍の原則の存在を発見し、またこれらの原則の検証法として、科学的な手法を言語研究に導入したことである。彼によれば、これらの原則は生得的なものであり、人間の言語である以上、必ず確認されるものである<sup>6)</sup>。チョムスキーの言語理論に基づく研究では、言語間を越えて見いだされる言語現象を、生み出していると考えられる言語現象の原則と、それらに従う細則を仮説化し、また言語間の相違 (各言語の特色) を、個々の細則のパラメータとしてとらえることにより、言語現象を説明していく。この一連の過程が、仮説の生成、帰納的な検証という、伝統的な科学の手法で行われるのである。現在、チョムスキー言語学のながれは、MITを中心とした、いわゆるGB (Government and Binding) コミュニティ、PP (Parameters and Principles) コミュニティと呼ばれる、正統的なチョムスキー理論<sup>7), 8)</sup>をベースにする、彼の弟子達によるものと、Stanfordを中心とした、素性構造の単一化を制約の記述原理としている、LFG (Lexical Function Grammar) 理論<sup>9)</sup>、HPSG (Head-driven Phrase Structure Grammar) 理論<sup>20)</sup>などに分かれているが、普遍的な文法原則の想定、宣言的な形式化といった本質的なところでは同一である。さらに、言語現象の分析が、基本的に文単位であり、統語論的現象以外は、言語現象としては二次的に扱われている (もしくは全く扱われない) ことも共通である。また、形式化が行われているために、自然言語の (いわゆるパーザなどの機構を利用して) 機械処理が容易である。とくに、素性構造の単一化を記述原理とした、LFG、HPSGなどにおいては、素性構造を有向グラフとして表わすことにより、自然に計算機上の単一化処理により制約処理を行うことができる。例えばカーネギーメロン大学 (CMU) では、LFG が利用されているし、また国内でも、日本語の記述の枠組みとして、HPSGの姉妹的存在である、JPSG (Japanese Phrase Structure Grammar)<sup>19)</sup>をATRなどが採用している。一方、これらのGB、LFG、HPSGなどの統語論的言語理論は、分析の単位が文単位であり、また意味論的制約が事実上無視されているため、談話理解などに拡大して適用する

事が難しい。したがって、CMUの談話処理プロジェクトなどでは、統語論的制約処理をLFGで行い、独立して、談話表現理論を利用した意味論、語用論的制約処理を別な処理システムで行う<sup>29)</sup>といった手法が用いられている。ただしこういった場合には、統語論と意味論、語用論は、異なる言語理論、異なるモジュールで処理されているため、相互の関係は極めて限定される。具体的には、入力文を統語論的に分析する過程で、特定の主辞と補語の組み合わせが許容されるか否かの意味フレーム (スキーマ) によるチェックと、出力された文単位の間中表現を、談話フレームにはめ込む程度の制約間の係わりに留っており、談話環境により融合的な制約処理を行うことは不可能である。したがって、たとえば、単一化により一度組み上げられた全体情報の構成部分が、処理の途中で他の制約とのかわり合いから非単調的に変化することはない。チョムスキー理論に限ったことではないが、これは、一般に現代言語理論が、言語現象を普遍的な言語的制約 (Universal Grammar) で説明しようとする現象のみに限っており、個人の記憶や、その場の出来事で刻々と変わるような現象を、分析の対象とはしていないからである。したがって、必然的に、統語論を主として扱っているものであり、特定の個人の経験や記憶により制約が変わるような現象は、対象としていないのである。もちろん最近では、談話文法的な発想の言語理論もあるが、これらもあくまで、文脈上のフォーカスや、話題のセンターなどの普遍的なパラメータで表わせるような制約を対象としており<sup>2), 12), 27)</sup>、個人的な差異が問題となるような記憶などは扱わない。また、意味論的な部分制約情報を、あくまで個人レベルの記憶から切り離して記述する試みもあるが (状況理論など)<sup>9)</sup>、これらは統語論的制約から切り離されており、恐らく将来こういった理論が、自然言語処理で利用される場合には、何らかの統語論的制約との係わりあいの枠組みと、個人の記憶に係わってくるような制約との係わり方が、提唱されることになると思われる。

## 2.2 意味論的制約処理の特徴

統語論的自然言語処理と同様、現在の自然言語処理で中心的なもう一つの手法が、意味論を中心とした手法である。この手法では、文脈自由文法などを利用した構文解析中心の処理を行わず、意味的な関係の認識を利用した処理を行う。自然言語処理に対するこういった考え方は、Quillian<sup>21)</sup>によって提唱された。彼は意味ネットワークを考察し、この意味ネットワークにおけるネットワーク全体の活性化の結果が、自然言語の理解状態を表わすとした。この考え方がFahlmanのNETL<sup>10)</sup>や、最近ではベクトルパターンの分散表現ではなく、概念を

ノードに直接対応させるローカリストといわれるコネクショニスト<sup>36)</sup>による自然言語処理を生み出した。とくに、Yale 大学人工知能プロジェクトにおける、シャンクと彼の弟子達(シャンキアン)による、意味論を中心とした自然言語処理の発展を、大きく促したのである。1970年代、当初シャンクは、CD (Conceptual Dependency) 理論<sup>24)</sup>、スクリプト理論<sup>25)</sup>などの、記憶とは切り離されたスキーマとしての意味論を提唱していたが、1980年代に入り、MOPs 理論<sup>26)</sup>を提唱するに至り、非単調的な記憶の活性化をベースとする自然言語処理の考え方を、Yale 大学で生み出したのである。この考え方では、自然言語は個人の記憶が自然言語の入力を受けている環境で、記憶を呼び出したり、更新したりする事によって理解されているとしている。ここでチョムスキー的な言語研究と対比されるのは、シャンキアンにとっては、自然言語処理はあくまで、仮想的な個人の記憶の「認知モデル」としてのシミュレーションとしてとらえていることであり、個々人の記憶から切り離された、普遍的文法規則を前提としていないことである。また、その活動は非単調的であるため、自然言語入力の分析中も、各構成要素そのものの実体も、環境により逐次変わるものと見られている。そういった意味では、Yale における考え方は、当時主流であった、Frege<sup>11)</sup>、Montague<sup>17)</sup>的な全体意味を、部分構成要素の単調的な組み上げの結果としてみる考え方にとって代わるパラダイムであったわけである。とはいっても、当初、Yale 大学人工知能プロジェクトにおける各システムの処理は、宣言的かつシリアルな意味制約処理を行っていたにすぎず、実質的には構文解析処理を統語制約の代わりに格文法制約を用いて行っていたこととあまり違いはなかった。しかし、1980年代中ばから1980年代後半にかけて、Quillian の意味ネットワーク上のマーカ伝播の手法が、Yale 大学人工知能プロジェクトにおいて、処理手法として導入されることにより、モデルとしては、非単調な超並列処理を前提とした、意味論駆動型の自然言語処理が提唱されるに至ったのである。Yale ではこのモデルをダイレクトメモリアクセス (DMA) 手法と名付け、意味理解、談話処理、機械翻訳のモデルとして提唱した<sup>22), 28)</sup>。また、この考え方はその後の Yale のケース (事例) ベース推論プロジェクト<sup>16)</sup>と、CMU における DM プロジェクト<sup>30)</sup>に引き継がれている。特に CMU ではその後、音声言語通訳プロジェクトなどでこの手法を利用した研究が続けられており、成果があがってきている。また、ハードウェアレベルでの実現も、ベースとなる認知理論が DMA ベースであるため、次に述べるような問題が未解決のままとはいえ、限られた文パターンに関しては、

超高速な文認識に成功している<sup>15)</sup>。

### 3. 意味論駆動型超並列処理のボトルネック考察

#### 3.1 ノード間伝播情報量の限界

DMA 手法などの意味論駆動型超並列処理を、現在の超並列マシンで実現する場合に問題となってくるのが、ノード間情報伝達量の限界(いわゆる Hillis bottleneck)である。一般に意味論を中心としたモデルでは、その制御の中心を意味論的制約処理におくことにより、意味論駆動型の処理が行われるが、意味論そのものが、膨大な知識の相互補完的關係と、グローバルな整合性の欠如を前提としているため、超並列的な処理が不可欠となってくる。したがって、現在、既存の超並列マシンでの実現可能性を考慮したモデル化が行われているが、現状では、超並列マシンは、一般に SIMD アーキテクチャをとらざるを得ず、ユニット間で交わされる情報は、せいぜい何ワード程度かのものであり、またユニットごとの処理能力も極めて限定されている。これにより、現在、意味論駆動型のモデルの制御構造は、いわゆるマーカ伝播型にならざるを得ず、意味ネットワーク上を、マーカと呼ばれる特定のノードへのポインタなどを各ノードの超並列的な活性化に伴い伝播するという手法がとられている<sup>4), 15), 16), 22), 28)</sup>。この処理のモデルは、Quillian や DMA で提唱されている活性伝播 (Spreading Activation) による、非単調かつグローバルな整合性の前提がない、自然言語の認識をそのまま実現する事に成功しているが、一方、扱える制約が極めて限定されるため、構造を持ったノード間の係わりや、2ノード以上遠方に伸びるような制約を扱うことができない。これはマーカで伝播される情報内容が、活性化の発信ノードや、活性化方向を表わす程度の量でしかないため、現代言語理論で捉えられているような、複雑に構造化された統語論的制約が扱えないからである。これにより、一方で伝統的な統語論を中心とした自然言語処理では不可能であった、非単調的な意味論処理の可能性が高まりながら、他方で、現代言語理論的な統語論制約処理が不可能となっている。

#### 3.2 ボトルネック解消を前提とした提案

ここで、1989年度と1991年度の米国認知科学会で発表された、超並列制約伝播の考え方を利用した超並列主辞駆動型制約伝播のモデル<sup>32)-34)</sup>について述べる。このモデルでは、統語論と意味論に、それぞれ固有の制御構造をもたせることをやめ、基本的に一つの制御構造のみで、伝統的な統語論中心の制約処理と、超並列的な意味論処理の融合的な実現を試みている。ただし、このため

に、超並列処理のモデルにおける前提を一つ外さなければならぬ。この前提とは、現存する（また近い将来実現する）超並列マシン上での、直接的な実現可能性である。後にみるように、提唱されているモデルでは、各ノード間において、有向グラフという形で構造を持った制約が、超並列的に伝播されている。残念ながら現存する超並列マシンでは、自由な有向グラフを送るほどのノード間での情報伝達能力はない。また、送られた有向グラフが、時に巨大な仮想的個人の記憶空間の特定の場所を指すことがあり、これは、現在の分散記憶型の超並列マシンでは、実現不可能である。このように、ここで紹介するモデルは、現在のハードウェアテクノロジーでは、いまだ実現されていない計算能力を前提としているということを確認したい。しかしながら、超並列的に行われる処理そのものは、有向グラフの超並列的な伝播と融合という均一的なものであり、ノード間で送られる情報量が大きくなり、また共有メモリへの高速なアクセスが可能となれば、実現可能なモデルである。また、無数の仮想プロセッシングユニットを並列プロセスとして実現することにより、既存の共有メモリ型の密結合並列マシン上で、ある程度のシミュレーションも可能である。したがって、厳密な超並列処理を前提としない、プラクティカルな実システムのベースとしてであれば、本稿で紹介する手法を利用することにより、64 CPU 程度の密結合共有メモリ型の並列マシン上に実現することも可能である。この場合 CPU 数が多くなりすぎると、恐らく、ユニット間コミュニケーションのオーバーヘッドが大きくなりすぎ、実システムにむかないと思われる。ちなみに ATR 自動翻訳電話研究所では、記号的制約処理に超並列主辞駆動型制約伝播を採用している MONA-LISA プロジェクト<sup>30</sup>において、密結合共有メモリ型の並列マシンである Sequent/Symmetry (16 CPU) 上において、同モデルを、軽量プロセスを利用する事によって実現している。

#### 4. 超並列主辞駆動型制約伝播の手法

##### 4.1 ベクトル状態の抽象化としてのグラフ

超並列主辞駆動型制約伝播のモデルでは、意味ネットワークで従来表現されてきた二次元的な広がりを持つ概念ネットワークの見方に代えて、超次元制約空間の考え方を導入する。ここでいう次元とは、ベクトル空間における次元である。したがって、ニューラルネットによる非記号的なベクトル空間も制約空間に含まれる。また、記号的レベルにおいては、従来単一文法などにおいて表現されてきた、素性束の個々の素性を、有限多数個のベクトル方向とも見ることができる。この場合単一

化とは、種々のベクトル空間を介在した連続写像活動である。厳密には、単一文法の素性束で表現されているような言語理論的制約そのものが、かなり抽象化された制約であるため、個々の素性がベクトル方向というよりも、個々の素性そのものを、超次元制約空間の状態の抽象化とみなすべきものである。また、意味論ネットワークの表現手法で従来記述されてきた概念ネットワークや、記憶ユニット、談話ネットワークなども、それぞれベクトル空間の状態として見るができる。こうして、自然言語の入力による言語の理解状態の遷移は、巨大なベクトル空間上での軌跡として表現される。もちろん記号的制約レベルのみでも、統語論的な写像遷移のみならず、刻一刻と変わる入力と記憶ネットワークの遷移が、極めて次元の高い複雑な軌跡をつくっていくわけである。このようなベクトル空間を、超次元制約空間 (Hyper-Dimensional Constraint Space) と名付けている。

##### 4.2 活性伝播マーカ伝播と超並列制約伝播

既存の超並列自然言語処理では、現在、マーカ伝播の考え方が一般に利用されているが、制約伝播はこれにとって代わるものである。

マーカ伝播は、意味ネットワーク上での活性伝播において、ノード間に距離（たとえば、isa リンクによる抽象度の距離）がある場合、特定のノードに活性化が到達した時点で、活性化の発信元のノードを特定する事ができないという問題（変数束縛問題）を解決するために考案された手法である。活性化を伝播するだけでなく、活性化の発信元のアイデンティティをポインタなどのデータ構造のまま活性伝播と共に送ることにより、この問題を解決する手法がマーカ伝播である。ただ、ニューラルネット的な発想では、ニューロンは活性化信号しか伝達可能でないため、ポインタを送るのは、脳の現実にそぐわないという批判もあるが、こういった批判に対する超並列人工知能研究における一般的な回答は、あくまでこれらの超並列活性伝播ネットワークを、脳の現実より抽象度の上昇したレベルでの認知モデルとみなしているため、問題とはならないという主張である。さらに Yale, CMU における DMA の研究では、トークンアイデンティティとしてのマーカのほかに、概念の表層的な（時間的な）並びを示すマーカも導入されており、例えば〈「ひと」、「本」、「読む」〉の順番で日本語では入力による活性化がされるなどの、いってみればナイーブな表層的な統語論的制約を、「ひと」が活性化されると「本」に予想マーカを伝播するといった手法で表現することも行われている<sup>15), 16), 22), 28)</sup>。このようにマーカ伝播とは、超並列的にネットワークを活性化するモデルにおいて、

活性の発信ノードや活性化の方向を制御する一つの制御構造といえる。つまり、意味論駆動型の自然言語処理のパラダイムが、「自然言語は入力文を表現する概念（記憶）ネットワークを見つけたすことにより理解される」とするドグマを提唱しており、その実現手法として編み出されたのが、マーカ伝播であるといえることができる。この意味でマーカ伝播は、知識ネットワークの超並列的な探索手法ともいえる。しかしながら、この考え方の抱える問題のひとつは、あくまで特定の自然言語入力に対するサブネットワークが、アプリアリに存在していることを前提としていることである。これは、自然言語の無限の生成可能性を主張するチョムスキー的言語観に対して、あくまでも記憶が先にあり、自然言語理解は過去の記憶を「思い出している」にすぎないとする、魅力的ではあるが、危険ともいえるジャンキアンの信念を、パラダイムの底流に持っているからである。しかしながら、この考え方は、何万、何十万という言語運用のパターンと、それぞれに対応する意味ネットワークの形をあらかじめ用意しておき、入力から超並列的な探索を行えば、自然言語理解は達成できる（また同様に、対訳を用意しておけば機械翻訳はできる）といった、意味の環境依存性、構文の構造依存性を無視した発想につながり易い。現実の自然言語発話においては、例えば特定の単語の意図されている意味そのものが、その時々、談話環境と、文として作りかけられている構文構造と、相互に作用しあいながら決まってくわけであるから、たとえばせいぜい 50 通り程度の再帰的な構文規則しかなかったとしても、語彙と発話環境との組み合わせは無限になる。これらの可能パターンを文脈ごとに用意しておくのは、機械処理のモデルとして現実的ではないし、認知のモデルとしては全くふさわしくない。実際、いくつかの文章を分析してみると、特定の単語を用意したパターンにはめ込もうとしても、はめ込むための特徴抽出が、全体の構文構造と意図される意味が漠然としてでも摺めなければ、たとえば、品詞や意味カテゴリーなどの特徴でさえも特定できないことが多い。したがって、膨大な量のパターンを用意しても、あいまい性が高まるだけで、当てはまるパターンをみつけたすことはできないという、自己矛盾に陥るのである。

#### 4.3 超並列制約伝播の実現手法

こういった背景から、超並列ネットワーク上での制御構造は、マーカ伝播ではなく、制約伝播の考え方をを用いる。ここで制約とは、個々のノードとほかのノードとのかわり合い方を定義するものである。これには、統語論的制約、意味論的制約すべてが含まれる。具体的には、入力により活性化されたノードに付随するすべての制約

が、制約空間で活性化され、伝播されていくことにより、ほかの制約と融合しながら入力の表現状態を、制約空間に作り上げていくという考え方である。また、こういった制約には、トークンアイデンティティや構造的制約も含まれるため、マーカ伝播で伝えられる情報も当然含まれてくる。ただ、マーカ伝播は、入力文をアプリアリに表わすネットワークの部分の探索手法である一方、制約伝播は、入力から制約空間における表現論的存在を、アポストエリオリに築き上げていく過程であるという本質的な違いがある。具体的にこれを処理可能なモデルとするためには、いくつかの工夫が必要であり、ここでは、現時点で採用されている三種類の工夫について紹介する。

##### 4.3.1 有向グラフの採用

まず第一に、制約空間を表現論的にどう具体化するかの工夫である。言語理論、認知理論の表現手法として直接的であるのが望ましく、主辞駆動型制約伝播のモデルでは、有向グラフを表現手法として採用している。これは、特に単一化文法理論の分析が、包摂順序グラフと呼ばれる情報内容の大小の半順序関係を利用した有向グラフですべて表現可能であり、また、意味論を中心とした手法で基本となる意味ネットワークがすべて有向グラフで表現可能であるからである。また、これらの有向グラフで表現される制約の処理手法は、単一化と呼ばれるグラフ間の融合処理のみに限定している<sup>35)</sup>。これもまた、現代言語理論の枠組みにおける分析と、述語論理の枠組みにおける分析が、単一化を利用してとらえることができるからである。このように、有向グラフの伝播と単一化を制約処理に採用することにより、既存の言語理論、意味ネットワーク、述語論理などで表現されている制約が、そのまま利用可能となるわけである。

##### 4.3.2 意味ネットワークの利用

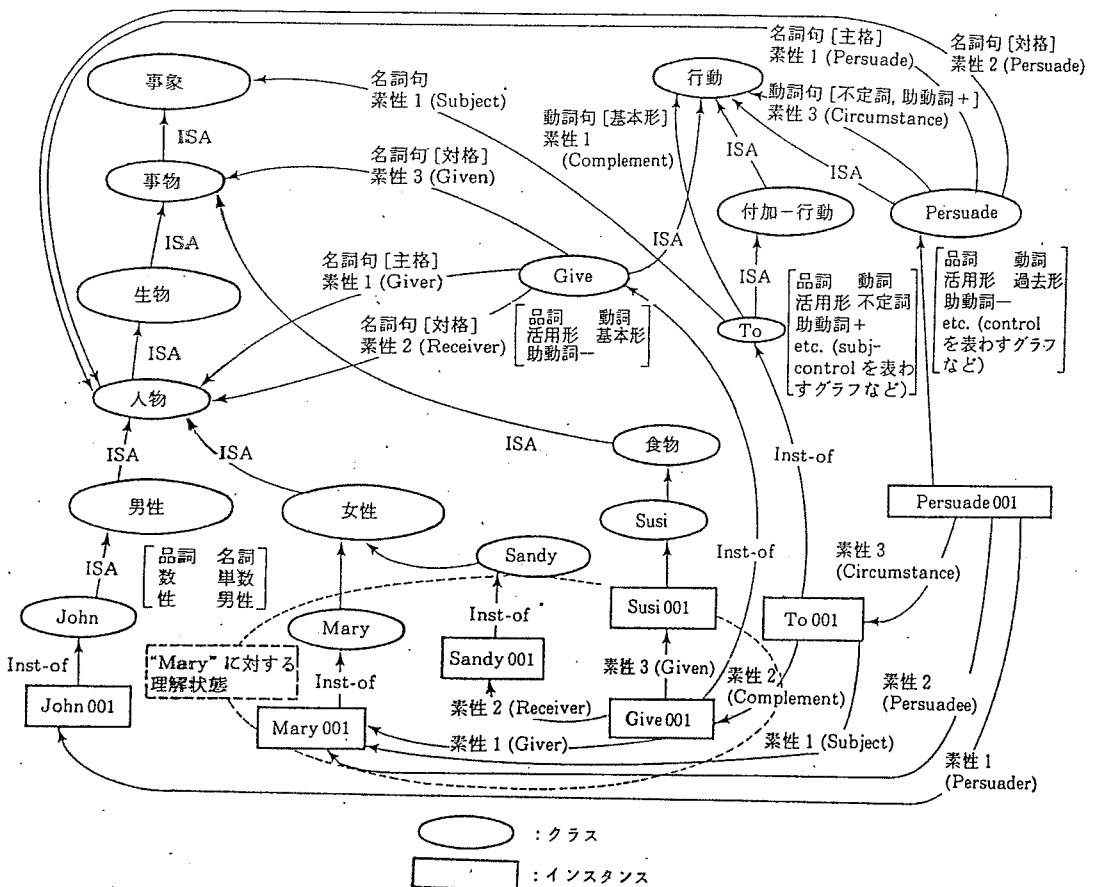
第二の工夫は、既存の意味ネットワークの利用である。本来超次元制約空間の考え方では、意味論的制約空間と統語論的制約空間は、あえて区別するべきものではなく、巨大な超次元空間に内包されている同質のベクトル空間としてみなされるべきものである。しかしながら、Quillian 以来利用されている、一般に意味ネットワーク、概念ネットワーク、記憶ネットワーク等と呼ばれている、宣言的かつ先験的な意味論的ネットワークを、意味論的制約ベクトル空間の記号的抽象化とみなすならば、既存の人工知能システムや自然言語システムのこれらの知識ネットワークを利用することも可能である。当然このような抽象化により失われる制約もあるわけであり、その代表的なものが、非記号のおよび準記号的な情報とのやりとりである。本来、意味論的制約もベクトルであるわけであるから、例えばニューラルネットなどでとら

えられる非記号的規則性も、意味論的な記号的制約と混在可能であるはずだが、記号論的抽象化によりこの可能性が失われる。このため、ATRのMONA-LISAプロジェクトなどでは、環帰型のニューラルネットの中間層のベクトル状態を、グラフ化し記号化するなどの工夫を行っている<sup>34)</sup>。このように、意味論ネットワークを、超次元制約空間における意味論的制約のベクトル状態の記号的抽象化とみなし、また、もともと非記号的な情報は、明示的にその部分情報をグラフ化し記号化することにより、既存の知識ネットワークを利用し、またある程度のソフトな(準記号的な)制約を扱うことが可能となったのである。

4.3.3 ヘッドとサブカテゴリゼーションの採用

第三の工夫は、ヘッド(主辞)とサブカテゴリゼーションの概念の採用である。ヘッド(厳密には語彙ヘッド)とは、句全体の統語論的な特徴を決定する語である<sup>14)</sup>。これらのヘッドを表現するノードでは、付随する制約グラフにヘッドの特徴情報(Head Feature)を記述する。また、これらのヘッドノードがサブカテゴリライズする

(補語の)語彙ノードより伝播された制約グラフと、自身の制約グラフを融合(単一化)する超並列的活動を、活性化時に自律的に行うように定義した。ここで、サブカテゴリゼーションとは、それぞれのヘッドが、自身の取り得る補語の数と種類によって分類(サブカテゴリライズ)されることにより名付けられた現象であるが、特定のヘッドと他の語句との結び付きを決定する制約である。このサブカテゴリゼーションの制約充足活動を、ヘッドであるノードに固有の自律的な超並列的活動として定義する事により、別個の統語論処理モジュールや、いわゆるパーザを他に利用することなく、超並列制約伝播活動中に統語論的制約処理を、明示的に行わせることが可能となった。これらヘッド(主辞)の概念とサブカテゴリゼーションの概念は、共に現代言語理論では、一般に受け入れられている概念であるが、いわゆるジャンキアンなどの意味論を中心とした自然言語処理では採用されていない。これらの概念は、共に、統語論的なオントロジーをベースにしたものであり、概念や記憶のユニットで表現されるような、意味論的ネットワーク上の存在と



第1図 超並列制約伝播ネットワーク(制約伝播認識の結果例"John persuaded Mary to give Sandy susi")

は異質な存在(情報)であるため、意味論的ネットワークに導入することができなかったためである。ただ、現代言語理論でいう制御(control)や束縛(binding)などの現象をはじめとする、いくつかの重要な制約が、意味論とオントロジーを異にする独立した統語論的制約なしに記述不可能であるという見方が現在主流であり、実際、既存のマーカ伝播を利用した意味論主導の処理では、こういった言語現象を扱うことは不可能である。主辞駆動型手法は、制約伝播の考え方を導入することにより、こういった統語論的現象を、意味論的制約処理を維持しながら、一般的に扱いる枠組みを提唱しているものである。第1図は、ATR自動翻訳電話研究所の研究会発表資料から抜粋したものであるが、MONA-LISAプロジェクトにおける超並列主辞駆動型ネットワークの一部である。“John persuaded Mary to give Sandy susi”という、いわゆる目的語制御(object control)現象を含む文の認識を行うサブネットワークである。persuadeを主辞とする外部節の目的語Maryとgiveを主辞とする内部節の(表層に現れていない)主語Maryが、単なる単語レベルではなく、Mary001というインスタンスレベルで同一であるという制約を表現している。Johnなどの概念ノードに素性束(かぎ括弧内)で省略して表わされているのが、各語彙概念に付随している制約グラフであり、上位概念に伝播され、また、サブカテゴリーライズしている語彙概念(persuadeなど)の制約グラフと衝突し、融合(単一化)されていった結果である。こういった超並列的なネットワーク活動は、参考文献33), 34)に詳細が記述されている。また、日経サイエンス1991年9月号の紹介記事も参考になる。

## 5. おわりに

自然言語処理は、人工知能(AI)や人工生命(AL)研究の一つの重要な分野であるが、恐らくほかのAI/AL分野以上に、方法論やパラダイム間の差異が大きいと思われる。これは、計算機科学や脳神経医学といった分野での成果が、人工知能・自然言語研究に影響を与え始めるよりずっと以前から、言語学者や哲学者、または心理学者といった人達が、研究成果をあげてきたからであり、また、それらの分野での成果が、力任せの機械的処理で得られてきている言語現象のシミュレーションに比べ、遥かに説得力のある分析を示しているからである。したがって、自然言語処理研究をどういった伝統的学問分野の影響下で行うか、またどういった目的で行うかにより、方法論とパラダイムの両レベルで、種々の信念が生まれてくるわけである。本稿では、方法論として、超並列処理の枠組みで、現代言語理論の分析と人工知能の意味ネッ

トワークの手法の実現を両立させる有向グラフの超並列伝播の考え方と、パラダイムとしての、超並列制約伝播の考え方を紹介した。主辞駆動型超並列制約伝播は、自然言語処理システムとしてのこれらの考え方の実現手法であるが、超並列性と、意味論と統語論の融合可能性のみをとって見ても、将来に向けての自然言語システムの一つのモデルとして有望であると思われる。

自然言語処理の一つの手法としてとらえると、超並列制約伝播を利用した自然言語処理は、これまで統語論対意味論(syntax vs semantics)、もしくはチョムスキアン対シャンキアンで対比されてきた、性質の異なる制約の融合をモジュール化されたインタラクションではなく、均一な制約伝播活動の枠組みでとらえようという試みとして見ることもできる。統語論、意味論共に、伝統的な有向グラフで表現可能な記号的制約として記述されてきたことを利用して、有向グラフの超並列伝播を採用することにより、均一な制約伝播活動が得られるという主張でもある。将来的な展望であるが、先験的な統語論原則や、本能的な制約情報とみられる知識、またア prioriにすべき世界知識などを、すでに獲得している制約ネット(グラフ)のニューラルネット化を含む抽象度の異なる制約の混在により、超並列制約伝播の枠組みで、視覚情報(ニューラルネット)、聴覚情報(ニューラルネット)をも混在した、マルチモーダルな自然言語処理システムを構築していくことも可能となろう。また、当然、超並列的な有向グラフの伝播を、ハードレベルで実現するような超並列マシンの設計、構築もまた一つの方向性であろう。周波数変調を利用したニューラルネット<sup>33)</sup>など、いくつかそういった方向性で提唱されつつあるアーキテクチャもあり、今後、知能処理に必要な超並列処理の特徴をふまえた、超並列マシンが提唱されていくに違いない。現時点ですでに、ニューラルネット的な研究が、記号処理まで守備範囲を広げつつあり、また、超並列的な記号処理が、ニューラルネットを内包したアーキテクチャを提唱するようになってきているわけであるから、将来的には、脳の信号レベルから抽象度の上がった記号レベルまでのモデル化をねらった、超並列アーキテクチャが提唱されていくものと思われる。

(1992年2月17日受付)

## 参 考 文 献

- 1) J. Barwise and J. Perry : Situation and Attitudes, MIT Press (1983)
- 2) E. Brennan, W. Friedman and C. Pollard : A Centering Approach to Pronouns ; Proc. of 25th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL-87), (1987)

- 3) J. Bresnan and R. Kaplan, (J. Bresnan ed.) : *Lexical-Functional Grammar: A Formal System for Grammatical Representation, The Mental Representations of Grammatical Relations*, MIT Press (1982)
- 4) E. Charniak : *Passing Markers: A Theory of Contextual Influence in Language Comprehension*, In *Cognitive Science 7*, Cognitive Science Society (1983)
- 5) N. Chomsky : *Aspects of the Theory of Syntax*, MIT Press (1965)
- 6) N. Chomsky : *Knowledge of Language: Its Nature, Origin, and Use*, New York Praeger (1985)
- 7) N. Chomsky : *Lectures on Government and Binding*, Foris, Dordrecht (1981)
- 8) N. Chomsky : *Barriers*, MIT Press (1986)
- 9) M. Dyer, (J. Barnden and J. Pollack ed.) : *Symbolic NeuroEngineering for Natural Language Processing: A Multilevel Research Approach: Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, Vol. I. High-Level Connectionist Models*, Ablex Publishing Co. (1991)
- 10) S. Fahlman : *NETL: A System for Representing and Using Real-World Knowledge*, MIT Press (1979)
- 11) G. Frege (P. Greach and M. Black eds.) : *On Sense and Reference: Translations from the Philosophical Writings of Gottlob Frege*, Oxford Basil Blackwell (1952)
- 12) B. Grosz, K. Joshi, and S. Weinstein : *Towards a Computational Theory of Discourse Interpretation, Preliminary Draft* (1986)
- 13) T. Gunji : *Japanese Phrase Structure Grammar*, D. Reidel Publishing Co. (1987)
- 14) R. Jackendoff : *X-Bar Syntax: A Study of Phrase Structure*, MIT Press (1977)
- 15) H. Kitano and T. Higuchi : *Massively Parallel Memory-based Parsing*; Proc. of IJCAI-91, (1991)
- 16) C. Martin : *Case-based Parsing*, (C. Riesbeck and R. Schank ed.) ; *Inside Case-based Reasoning*, Lawrence Erlbaum Associates (1989)
- 17) R. Montague : *English as a formal language: Linguaggi nella e nella Tecnica 1970*; Reprinted in R. Thomason (ed) *Formal Philosophy: Selected Papers of Richard Montague*, Yale University Press (1974)
- 18) E. Nyberg : *HyperFrame User Guide*, Memo-89-001, Cognitive Research Laboratories (1989)
- 19) T. Morimoto, M. Suzuki, T. Takezawa, G. Kikui, M. Nagata and M. Tomokiyo : *A Spoken Language Translation System: SL-TRANS 2*; Proc. of Fourteenth International Conference on Computational Linguistics (1992)
- 20) C. Pollard and I. Sag : *Information-based Syntax and Semantics Vol. I, CSLI* (1987)
- 21) M. Quillian : *Semantic Memory*; In M. Minsky (ed) *Semantic Information Processing*, MIT Press (1968)
- 22) C. Riesbeck and C. Martin : *Direct Memory Access Parsing*; Report 35, DCS, Yale University (1985)
- 23) S. Sato : *Example-based Translation Approach*; Doctoral Dissertation, Kyoto University (1991)
- 24) R. Schank : *Identification of Conceptualizations Underlying Natural Language*; In R. Schank and K. Colby (ed) *Computer Models of Thought and Language*, W. H. Freeman and Co. (1973)
- 25) R. Schank and R. Abelson : *Scripts, Plans, Goals and Understanding*; Lawrence Erlbaum Associates (1977)
- 26) R. Schank : *Dynamic Memory: A Theory of Learning in Computer and People*, Cambridge University Press (1982)
- 27) C. Sidner, (M. Brady and R. Berwick ed.) : *Focusing in the Comperhension of Definite Anaphora; Computational Models of Discourse*, MIT Press (1983)
- 28) H. Tomabechi : *Direct Memory Access Translation*; Proc. of IJCAI-87, pp. 722~725 (1987)
- 29) H. Tomabechi and M. Tomita : *The Integration of Unification-based Syntax/Semantics and Memory-based Pragmatics for Real-time Understanding of Noisy Continuous Speech Input*; Proc. of the 7th Annual Conference of the American Association for Artificial Intelligence (AAAI-88), pp. 724~728 (1988)
- 30) H. Tomabechi, T. Mitamura and M. Tomita : *Direct Memory Access Translation for Speech Input: A Massively Parallel Network of Episodic/Thematic and Phonological Memory*; Proc. of the International Conference on Fifth Generation Computer System (FGCS-88), pp. 1100~1107 (1988)
- 31) H. Tomabechi and H. Kitano : *Beyond PDP: Th Frequency Modulation Neural Network Architecture*; Proc. of IJCAI-89, pp. 186~192 (1989)
- 32) H. Tomabechi and L. Levin : *Head-driven Massivel Parallel Constraint Propagation: Head-Features an Subcategorization as Interacting Constraints in Associative Memory*; Proc of the 11th Annual Conference of the Cognitive Science Society (CogSci-89), pp. 372~378 (1989)
- 33) H. Tomabechi : *A Graph Propagation Architecture for Massively-Parallel Processing of Natural Language*; Proc. of CogSci-91, (1991)
- 34) H. Tomabechi : *MONA-LISA: Multimodal Ontologic Neural Architecture for Linguistic Interaction a Scalable Adaptations: A Massively Parallel Architecture for Symbolic and Subsymbolic Interaction*; Proc. of the International Workshop on Fundamental Research for the Future Generation Natural Language Processing (FGNLP-91), pp. 49~69 (1991)
- 35) H. Tomabechi : *Quasi-Destructive Graph Unification with Structure-Sharing*; 14th International Conference on Computational Linguistics (COLING-92), to appear (1992)
- 36) D. Waltz and J. Pollack : *Massively Parallel Parsing: A Strongly Interactive Model of Natural Language Interpretation*, In *Cognitive Science 9*, Cognitive Science Society (1985)