

活動単位を組織する言語活動に基づいた自然言語の処理方法

唐澤信司

(宮城工業高等専門学校 電気工学科)

2006年2月17日

東北大学電気通信研究所
第343回音響工学研究会

1. はじめに

言語に関する研究は非常に多くの研究者によってなされてきた。そのなかで、自然言語の認識に関する研究は主にソフトウェアを開発する方法でなされてきた[1]。他方、言語は実世界の属性を脳神経回路網の活動として抽出して、その脳神経系の活動を音声により表現したものである。従来は、そのような言語に関する脳神経回路網の活動に関する解明がまだ充分なされていなかった。

著者は次ぎの如く考える。脳神経回路網では神経細胞がインパルスという活動単位の部分集合を一つの活動単位にして転送している。その活動単位を組織する神経細胞の回路のしくみが言語の句構造や木構造や書き換え規則をもたらした。また、音声言語は神経回路網の空間パターン的な活動を時間的に直列な音声で表現したものである。そこで、発声の時間配列には発声の句切りの終端部に文法情報を挿入し、その音声を認識する際に押し込まれたデータを引き出すように句切りの文法情報を解読する。文は動詞を中心として具備すべき属性や条件は実世界の属性に規定されている。その枠を語の格として助詞などで指示している。

本報告では言語活動のしくみを「活動単位」という概念の導入して述べる。人間が言語活動のルーツを辿ると、脳神経系から生命活動のしくみにまで至る。即ち、生物は酵素によって調節されている生化学反応で活動しており、その生化学反応はその活動を容易にするような変化を組織に残す。生化学反応が活動単位を転送するようにして生体組織の活動を支えるしくみは単細胞生物でも多細胞生物でも同じである。その自動的に形成されるしくみは知能システムを設計制作する際に参考になる。

永続して活動する生体組織は周囲と相互作用をしなければならない。また、生物は自己を複製する仕組みがなければならない。その生化学反応を担う酵素や構造タンパク質の分子構造や性質はかなり複雑であるが、活動単位という概念で考えると、生物が物質を外部から取り込み、活動をして生体組織を成長させる生化学反応のしくみとインパルスを転送して構築される神経回路のしくみは同じになる。

これまで、知能ロボットの分野では、R.A.Brooks はセンサーから入った信号で直接、駆動系の制御を行うしくみとして[Subsumption architecture] を提唱した[2]。また、

W.J.Clancey は静的な記号的な表象では動作は表現できないことを指摘した[3]。また、生物の自己組織化[4]、免疫反応[5]や、酵素反応のしくみで知能システムを構築する提案[6]もなされた。これまでは化学は物質の変化を解明し、物理学が物質の運動や状態の変化を解明した。しかし、生物は活動を担う生体を実時間の活動で作り変えている。従来はその現象を直接的には扱わなかった。

著者はインパルスを転送して知能を形成する神経回路網をモデルにして、「インパルスを電荷で表現して、その電荷が転送される際に知的な動作をする電子回路を容易に組み込める半導体集積回路」について研究してきた [7],[8],[9]。脳神経回路網ではデジタル回路と異なり、インパルス「活動単位」を組織して知能活動を高度化する。遅延転送素子を繋げて活動単位を転送すればシフトレジスタとなる。直列の遅延転送素子を繋げてループを形成させて、一連の活動単位を注入すれば、それが循環して一連の活動単位の部分集合を保持できる。保持される活動状態群を解読して上位の活動単位として、ループ回路に活動を保持すれば階層的な活動も保持される。

脳神経回路網に言語活動が付加されるが、言語表現の中身は脳神経系の活動である。それを音声表現する際には音声に区切をつけて活動の部分集合を示し、脳神経回路網において階層構造の活動を呼び起こすことを容易にする。その脳神経回路網の活動と時間直列の音声表現に関するルールが文法である。

本文では、音声言語を通して階層構造の活動を認識する基本的な方法を提案する。まず、発声されたデータを解読する際には先に聴取した言葉には遅延回路を挿入する。他方、話したい複数の要素を持つ回路から出力を取ると後の発声する音素を遅らせるために遅延素子を挿入する。また、発話の句切る際に、その部分集合の文法情報を挿入し、解読する際には文法情報を先に解読する。そこで、認識の過程では発話の後部の部分集合から分析する。音声言語の認識の要として、動詞を形態素分析で検出し、同時にその動詞の具備する条件の枠組みを読み出しておく。別に単語の形態素と格とを読み出し、動詞の枠の格に合致する格を持つ単語をその枠に挿入する。動詞の枠組みは実世界に於いて規定されるから、異なる言語でも動詞の枠組みは共通していて、機械翻訳ができる。

2. 言語活動を担う生物の仕組み

2.1 活動単位：生物の活動を担う生化学反応

言語活動は生体の化学反応によって営まれており、その活動を担う酵素は活動後に元の状態に戻るが生体組織は活動により若干の変化を起こす。神経回路網を伝わるインパルスも化学反応を伴い、脳神経回路網は若干変化しても反応前に近い状態に復帰する。

従来は身体自体にも変化を残す生体の「活動」を扱う理論がなかった。「活動」という概念は実世界における動作を表わす言葉である。「エネルギー」あるいは「活性化」という概念はその物理量のために回路や素子を作ることの想起することが困難である。ところが、「活動」は「活動をする回路や回路要素」を作ることができる。

活動単位には始めと終わりがある。そこで、状態の変化という句切りのある活動を活動単位とすることができる。一連の活動単位をまとめて一つの活動単位とすることもできる。従来のデジタル技術では活動前後の静止状態を情報として処理してきた。活動の結果が状態として残るので活動の前後で状態はデジタル的な変化となる。

デジタル状態の変化は数学的にはステップ関数(u(t))により表現される。ステップ関数(u(t))を微分すれば関数(u'(t))となる。逆に、関数の活動の積分がステップ関数の状態となる。図1. にデジタル的な状態の変化がインパルス的な活動となることを示す。

ここで、1つの生化学反応を入力部と出力部に分けた円で表わし、活動の伝播を で示した。

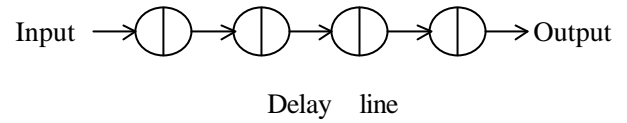


図2 一連の生化学反応による遅延活動

Fig.2 A delay activity by a set of biochemical reactions

図3 に入力側のデータのパターンにそれぞれ選択的に反応する活動単位を並列に並べた組織を示す。ここでは様々な状況の入力を全ての活動単位に照合して、状況に応じた選択的に適切な活動単位を稼働させる。

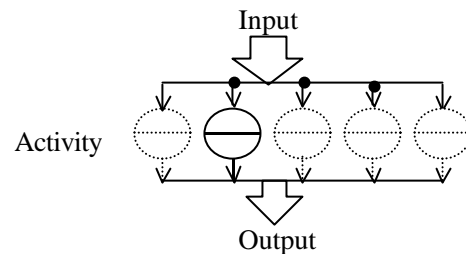


図3 種々の活動単位を並列に並べた活動組織

Fig.3 A set of various activities those are arranged in parallel

図4に示すように、複数の解読器が稼働した状態はその要素の上位の活動単位によって解読される。

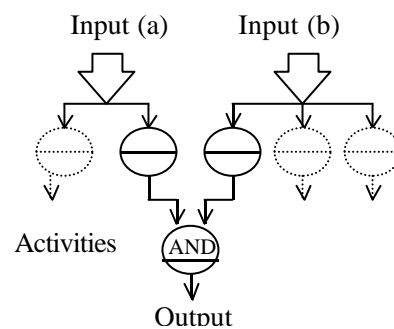
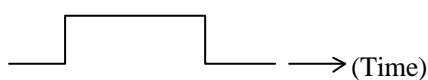
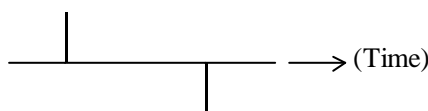


図4 複数の活動単位が稼働する状態を解読する組織

Fig.4 The system which decodes the condition where plural activities operate



a) Digital signal (Information of a state)



b) Impulse signal (Information of an activity)

図1 活動単位の積分で与えられる状態

Fig.1 A state is the integration of impulsive activities

2.2 生化学反応を転送する組織

時間的に次々と発生する一連の生化学反応を一系列に配列して活動単位を転送することができる。図2に直列に連結して転送し、時間の遅延を実現することを示す。

全成分を1回で解読する神経細胞は階層的な組織の活動に比較して高速になる。神経細胞は同時に活動する活動単位の部分集合だけを組織する。生化学反応では同時

に入力する複数の活動(パターン)を選択して応答する．生化学反応の稼働条件をその活動を選択する条件とすれば、生化学反応はその条件の解読器としての機能を持ち、細胞も解読器の役割を果たす．なお、デジタルの解読器ではデータと回路のパターンが一致した時に稼働する．

2.3 活動単位を組織する回路構成

音声のように時間的に変化する場合にはシリアル入力パラレル出力のレジスタが必要になる．このシリアルからパラレルへの変換には図5に示すように活動単位を転送し、各転送要素から出力を並べて取り出せばよい．

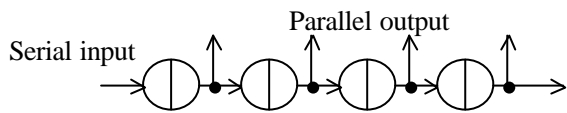


図5 シリアル入力パラレル出力のレジスタ

Fig.5 A serial input / parallel output register

生体の知能回路は選択機能を持つ生化学反応のネットワークによって構成されている．電子回路では知能回路は解読器の回路網により実現する．

図6に時間に直列に並べられる活動単位群に応答する回路を示す．

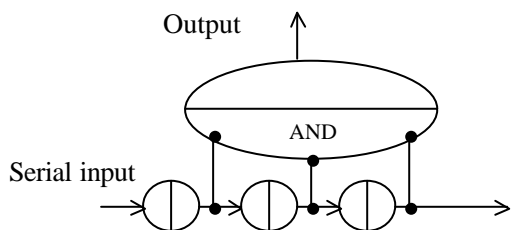


図6 シリアルな活動単位列の解読器

Fig.6 A decoder for a set of serial activities

図7には複数の時間直列の動作をそれぞれ別々に制御する回路を示す．人間は聞いた言葉を直ちに発音することは容易にできることが知られている．図7から聴いた言葉を真似して発音するだけの情報処理であれば比較的簡単な仕組みで実現できることが推察できる．

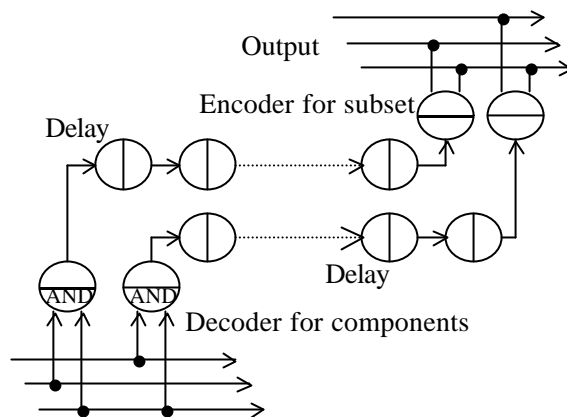


図7 時間直列の動作を制御する回路

Fig.7 Control circuit for serial actions

2.4 循環する活動単位群による活動の保持

活動すれば状況は変化し、その変化した状況では別の反応が起こる．そのような連鎖する活動を次々と連ねているうちに反応が循環する活動の連鎖が起こり得る．

生物は外部と相互作用して永続的な循環活動するしくみとして誕生した．生化学反応の連鎖が循環することが偶然に発生しても、それが周囲と適切な相互作用をしてエネルギーを補給しなければやがて消滅する．生物は環境の変化により休止期間があるとしても、状況の回復に応じて活動を再開させている．

図8に活動単位を連ねてループ回路とし、活動を循環させることにより、活動を続ける回路を示す．それぞれの転送要素から出力を取り出して活動単位を稼働させれば常時活動するルーチンの活動を行う有限状態機械(Finite-state machine)となる．

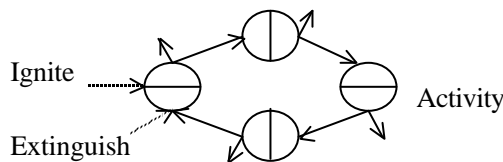


図8 遅延転送要素のループによる有限状態機械

Fig.8 A finite-state machine by a looped delay elements

コンピュータのCPU(中央処理装置)には図8に示すようなマシンサイクルを持つ回路によって、定常的に活動している回路がある．出力の状態にはプログラムの指示する動作をするという機能を持っている．

高次の機能を持つ生物は、未来も活動を続けるために活動し、未来を先取りした活動の適応性は自然界の生存競争や種内淘汰によって淘汰される。選択された子孫が生殖の仕組みにより繁栄する。

最初に生命が誕生する段階から生物の生化学反は周囲の状況に合わせて活動を続けており、細胞は一方では一つの生命の単位として独立性を保持しながら、組織を形成し細胞社会[10]を形成する。

2.5 複製の道具としての遺伝子のしくみ

接続可能な分子が相互に結合することで巨大分子ができる。そこで繰り返して使われる構成要素の種類が幾つもあれば、その組み合わせは膨大な種類となり、天文学的な数の種類の巨大分子を作ることができる。そのなかにある生体を構成する立体構造の特定のタンパク質分子が自然に合成される確率は極めて少ない。

現在の生物は、素材を入力してタンパク質で形質を製作する際には形質遺伝子を金型にして複製おり、その形質が活動する際には調節遺伝子により酵素を作り出して調節している。ここでは、特定の遺伝子を発現する分子があって、その分子を合成するしくみも含めた反応のセットによって、必要に応じて必要なタンパク質が合成される。2重螺旋構造の遺伝子 DNA は必要なタンパク質を作成することができる RNA の型となり、RNA を複製できて、安定して自身の構造を保持できる分子である。

生物は三葉虫の化石が出現するカンブリア紀の初期以前までに 30 億年以上にもおよび継続的に活動して複製するしくみに進化を加えてきた存在である。神経系がない原始的なカイメンに脳の形成に関与する遺伝子が存在しているという[11]pp.81。このことは、遺伝子は道具であって、その道具の獲得が先行したことを想起させる。

3. 脳神経回路の形成

3.1 活動による脳神経回路の組織化

免疫反応では一つの巨大分子が標的の巨大分子を選別して、その分子を処理する。酵素は、特定の分子に選択的に反応して、その分子を分解できる。このように一つの生化学反応は稼働する状況を反映した組織を形成できる。時間的に順序がある連続した活動も活動単位とし

て記憶できる。その活動のルールを担う反応のルートを活動単位の単位として、それを並列に並べて、種々の活動単位を適宜に動作させる。

動物の脳では神経細胞の発生するインパルスは起こす前提条件となる活動が起ったことと、どの細胞に反応を転送したかということの意味している。人間も無意識で歩いたり、食べたりする時には、言葉のような表象を持たない知覚を調整している。

自転車に乗ることや、スキーなどのスポーツをする技術は情報という形に変換せずに活動と同時にその神経回路網が構築される。ここでは神経細胞の活動の意味が活動した細胞を抜きにしてはその活動の意味がわからない。

神経細胞は入力特定の活動状況に対して稼働する。そこで、神経細胞の入力側の接続関係がその記憶を担うことになり、一つの神経細胞が特定の活動単位を専用に記憶する素子となる。こうした階層的な神経回路網によって、活動単位の組織的な活動が可能になる。

神経細胞の活動の意味は操り人形の糸のように接続関係が担っている。神経回路網のインパルスは電気通信の信号と相違して、インパルスだけ取り出してその符号を翻訳しても意味は取り出せない。

3.2 活動単位の階層構造による活動

神経回路網も、一つ活動単位を担う回路要素を並列に並べて、種々の状況に応じて動作させる組織でも次々と活動する行動ができる。しかし、成分を組み合わせた階層組織による活動の種類は成分の組み合わせの種類数となり、最初の段の構成要素があまり多くなくても階層の段数が重ねられれば莫大な数になる。

成分要素を共通に使う階層的に組織する活動単位の回路網にすれば回路網の稼働率が飛躍的に高くなる。例えば、踊りを繰り返される動作を要素とし、その動作も繰り返される姿勢によって指定すれば、踊りを全ての姿勢で指定する回路より稼働率が著しく高くなる。

動物の鳴き声にも種類があり、動物が鳴き声を上げる状況を見ればその声を出す理由を知ることができる。動物は同じ種ではなくても同じ場所にいる場合に実世界を共通にした連携した動作や組織的な活動ができる。動物は情報を交換してその活動を高度なものにした。

3.3 言語の音声表現を担う神経回路網

インコやオームはヒトの言葉を繰り返し聞いてヒトの言葉の真似をすることができる。しかし、鳥はシリアルな音の変化を真似しているに過ぎない。人間の音声言語は伝えたい意味の中身が脳神経回路の活動にあり、それを時間の流れに沿った動作で発声している。

一つの文章を複数の活動単位で表現し、その活動単位を複数の単語で表現し、一つの単語を複数の発声活動(音素)で表現している。脳神経回路網の活動は回路に依存し、その回路は組み合わせ論理という空間的な性質を持ち神経細胞で解釈する。

他方、時間に直列な音声の部分集合で表現された言語活動を解釈する為に、発話活動に区切を付けて発声している。後から発声する言葉には遅延回路を挿入する必要がある。他方、聞き手はシリアルな活動単位の部分集合を脳神経回路網で一つのパターンの活動単位するが、ここでは発声されたデータを解釈する際に、先に聴取した発声された言葉は遅延回路を挿入して遅延させる必要がある。こうして、聴いた音声を直ぐに発話する際に一旦解釈する回路を経由させると、挿入する遅延素子が発話と音声認識では逆になる。

図9に音素群を成分として入出力する単語を認識し手直ちに発話する回路を示す。

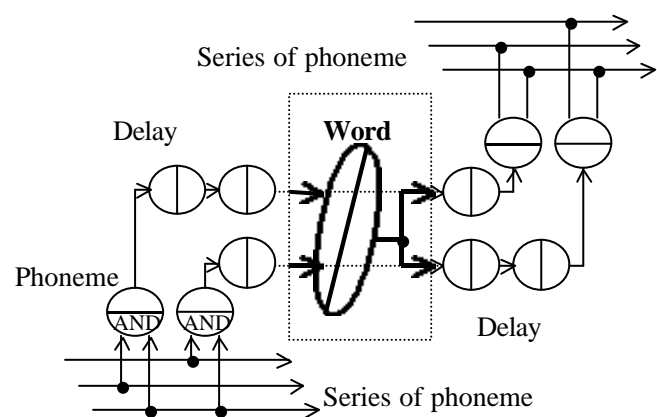


図9 音節活動単位群を単語の活動単位で表す回路
Fig.9 Additional circuit in the upper layer

図10には単語群を成分として入出力する文章を認識し、発話する回路を示す。聴いたことを直ぐに発話する際に、話したい文章を処理する際に単語の順序を指定するために挿入する遅延素子が発話と認識では逆転する。

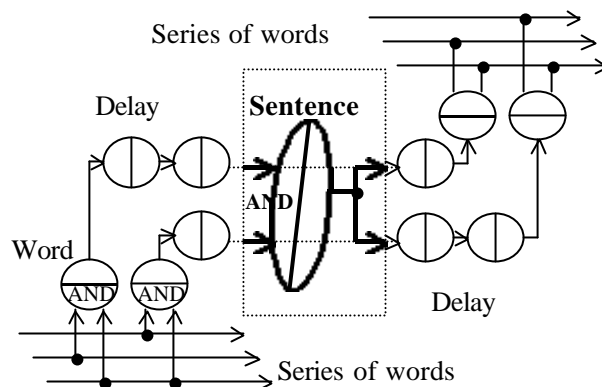


図10 単語の活動単位群を文章の活動単位で表す回路
Fig.10 Additional circuit in the upper layer

結論を説明する発話と話を聴いて理解する音声認識とでは活動のプロセスが相違している。図11には発話に於ける階層的な活動単位のネットワークを示す。

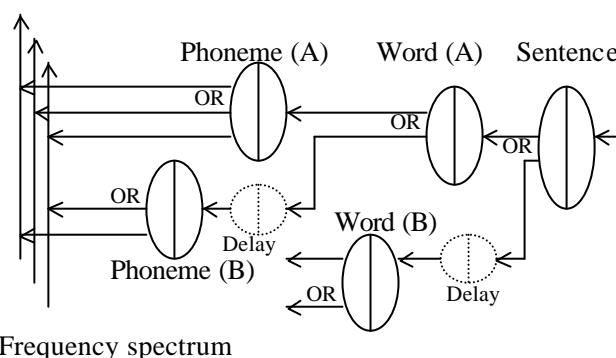


図11 発話の活動単位のネットワーク
Fig.11 A network of activities for speech

4. 言語の構造

4.1 階層的な活動を時間直列で表現する回路網の構築

生物は活動単位を転送して稼働する反応のルートを決つか準備して作用している。そのなかには活動単位の出力が複数の活動単位を稼働させることもある。複数の成分を持つセットを一つの活動単位とすれば階層的な活動単位の組織ができる。

例えば、言いたいことがあって、それを話すために文章を構成する単語を並べて順序に沿って単語を指定して、その単語の発音を指定するように行う。知っていることを形式に合致するように表現する処理は無駄な作業をし

なくても済む．ところが、音声認識は文章がわかっていないで話を聴くので、どのような構成の話であるかは全体を聴いてからわかる．話を要素から聞くことになるので、話される最後まで聞かなくてはならない．

文章の階層構造を発声の形式に組み込むのは模倣して発話を行い、その際に活動する複数の要素の稼働状態をモニタすれば、発話の遠心神経回路とは逆に遅延素子を組み込み階層的な活動単位の組織が認識できる回路網ができる．音声認識の神経回路の形成においては、発話することも重要である．音声を解釈する階層的な神経回路の回路網ができれば、その回路網に付随して各種の感覚細胞から活動を組織して状況を認識する活動ができる

4.2 実世界の属性に依存する動詞の属性

言語表現する対象として実世界の事柄が多く含まれていて、実世界を共通にして活動するので、どの言語にも共通する言語の構造がある．

独立して意味を持つ音声表現には、行動や動作などの活動を言語で表現する必要がある．その活動には特定の関係にある複数の構成する要素がある．つまり、動作には主体や対象など特有の属性があり、主体には主体になり得るもの、あるいは動作の対象にはその動作の対象になり得るものなどに条件がある．脳神経回路網では、共通のものを共通に扱うことによって、その活動を担う回路網の効率が良くなる．

経験を重ねることによって、神経回路網に活動のタイプやそれを構成する成分のタイプなどの規則性が組み込まれる．具体的には、英語には動詞の種類によって基本5文型がある．英文には語順に決まった関係がある．他方、日本語では語順には依らずに語形変化や助詞や助動詞により表される．

4.2 思考の機能の形成

脳神経回路網に階層的な活動単位を組織する活動のしくみがあって、それを音声によって表現する神経回路がオーバーラップして付加される．音声で会話を担う脳神経回路網は神経回路だけでも活動できる．こうして、言語活動にオーバーラップして形成される神経回路網によって、思考活動ができる．

脳神経回路網で活動単位を組織して活動するので、思

考の概念も言語の活動単位と同様に階層構造に組織される．言語を使うことによって人間の大脳の活動は周囲の現実の世界に上乘せして抽象的な観念の世界を持つことになった．その活動の多くは言葉を要素にしている．また、音声という人工的な物理的な存在で表現される活動が文字や図面などを要素として新たな世界を構築した．

伝播媒体に依存しない意味を持つ情報の最終端末は人間である．その情報を理解するには、経験を言語で表現し、言語を理解することを経験する必要がある．

階層構造を持つ言語要素を組み合わせた言語活動を行うことによって、物語を作ることができる．思考することは物語を作ることと類似した活動である．さらに、人間は言語で社会システムを論議して、それを共有することによって情報社会を築いた[12]．

5. 自然言語の認識

5.1 文法情報の挿入

音声で伝えられる文章の終わりには、明確な沈黙期間が現われる．伝えられる意味の単位が文章である．音素は発声動作のパターンに対応していて、それを配列して文章を伝える．そこで、発話の区切りには、文法に関する情報が挿入される．文章の音素列を区切って、階層構造で構成されている脳神経系の活動単位の部分集合を発声動作の部分集合で表現している．

日本語では助詞や助動詞が文法構造を示す．その文法情報によりその付属語が接続した語の役割を指定する．助詞や助動詞に限らず語尾変化など文法的な情報が後に発話されるので、発話を後ろから分析してその情報を採取して、句構造として整理する．修飾語と被修飾語の語順では修飾する語は非修飾語の先に発話する（エンドフォーカス）．つまり、基本的な情報が後になる．

5.3 動詞の性質による情報の枠に単語を割り当てる処理

発話の句切りで、音素列のデータを保持するレジスタから出力する音素列を後ろの方から順次採取して逆引き辞書[13]によって言葉自体を見つけ出す形態素処理を行う．先に動詞を検出し、その動詞によってその動詞に関わる条件の枠を指定する．形態素分析で動詞の条件の枠に当てはまる単語を挿入する．

具体的には、図 12 如くコンピュータのデータ処理な

どで採取された音素列の配列に関して、後順の発音記号で検索する形態素辞書によって、単語の認識作業をする

まるというのがメインで、食べるのは集まるの条件である。条件の枠のなかで、食べるがあって、その条件に昼食がある。このように日本語の言語認識は後ろから処理を行う方法が適している。

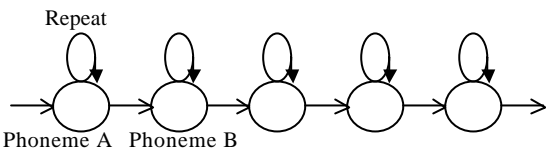


図 12 コンピュータによって得る音素列の配列

Fig .12 A line of phonemes those are obtained by computer.

次に、認識された単語の具備する属性が動詞に付随した条件の枠に当てはまるか検討する。単語辞書で特定された単語の属性を設定された文章の形式の枠に照合して適合した場合に挿入する。その構文解析のブロック図を 図 13 に示す。

なお、形態素解析のための辞書と動詞に関係した文法辞書はあらかじめ組みこむ。文法辞書は動詞に付随した情報の枠組みや、単語の格など構成要素の性質を記憶しておいて、単語の役割と文章を構成する成分の役割が適合するかどうかのチェックを行う。採取された情報の全ては認識に活用する。

5.2 自然言語の文脈効果

話が話基本的に文章は一つの活動や動作を表現する。その文章を連ねてパラグラフとする。そこでは、「即ち」とか、「同様に」とか同じ趣旨の文章を連ねる。パラグラフを変える場合には、「しかし」、とか「他方」という接続詞を入れて新たな文章を展開する。

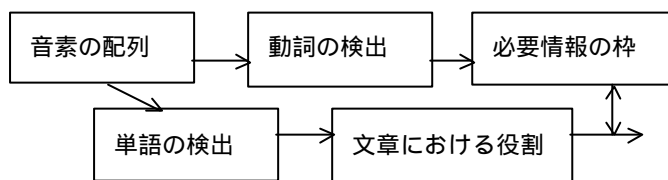


図 13 動詞の性質に基づいた句構造の分析

Fig.13. Phrase structure analysis that gave priority to the nature of a verb

それらの接続詞は、文章で一つの物語を組み立てる際に、文章の展開を示唆する役割を示している。

ところが、日本語では食べたところ、・・・食べながら・・・等と動詞の活用形として、別の話に展開する。その区切りには接続詞を挿入することによって対応できる

修飾部が前部に置かれるので、前部の単語は後部の動詞が具備する性質に基づいた情報の枠に割り当てる作業により確認する。

6. あとがき

本報告では言語の意味は活動単位のパターンを一つの活動単位とする神経細胞の活動の部分集合として説明した。本報告で述べた「活動単位」という概念は生命活動を担う生化学反応の性質に根拠を置いている。その活動単位の前後は静止していて、活動により状態はデジタル的に変化する。その生化学反応による活動は酵素が介在して行なわれており、その活動は組織体をも形成する。その活動」という概念で脳神経回路網も説明できる。すなわち、「活動」はエネルギーや活性化と相違して、「活動」のための生体組織や「活動」によって生体の一部を作ることができる。

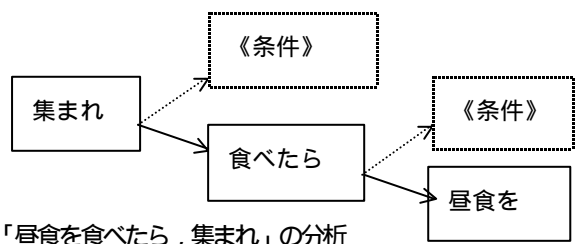


図 14 文の後部からの構造の分析

Fig.14. Analysis of a sentence with plural verbs from the back of the sentence.

図 14 に示す例の、「昼食を食べたら、集まれ。」は一つの文章の中に複数の動詞が含まれる[14]。ここで、集

脳神経回路網では特定の活動単位群が活動状況になった時に特定の神経細胞が接続され、再びその状況になった時その神経回路が対応した活動を指定する。一つの神経細胞は幾つもの活動単位の部分集合を一つの活動単

位に変換するので活動単位を組織することができる。活動すれば状況が変化するので様々な状況に対処する必要がある。そこで、様々な活動を行う複数の神経細胞を準備する。そのような活動単位群を転送する回路網に言語の活動のネットワークも付加される。実世界から抽出した事物や状況に関する脳神経回路網の活動を音声で表現する際に言語の文法ができる。

人間の発話では幾つかの音素を連ねて、単語を特定し、その単語を幾つか組み合わせることにより文章をつくる。この階層構造の神経回路網により多くのことを表現することができる。言語表現に関連した脳神経回路網の活動がその言語表現の意味となるが、その活動には普遍性も個性もある。その言語活動をコンピュータで処理することができる。本報告では自然言語の本質を解明することを中心に言語処理の方法論を検討した。

言語の内容とする神経回路網の活動を時間直列の音声で表現する際に発声には順序がある。発話では後で発話する部分に遅延素子を挿入する。また、活動単位の部分集合を区切る時に区切りの尾部に文法情報を挿入する。文法情報は言語に関する要素の枠組みを規定するので先に解読したい。そこで、音素列を押し込むように入れ、それを引き出すように区切の後方から解読する。そこで逆引き辞書を利用する。

また、文の形式は動詞によって規定される。そこで、先に動詞を呼び出し、動詞の文法情報によって得られた枠組みに語彙情報を当て込む。

脳神経回路網では発話をモニタして、認識回路と発話回路を現実での体験に合わせて活動させる経験により文法と語彙の知識が組み込まれる。その蓄積があつて、音声から知らないことを知ることができるようになる。

本提案の言語認識システムを構築する作業は今後に残されているが、言語処理の分野を始め、言語教育などの分野の方々に参考になれば幸いである。

参 考 文 献

[1] 長尾真編：自然言語処理，岩波講座ソフトウェア科学 15 巻，岩波書店，1996。
[2] R.A.Brooks, “*tcts-*”, Lippincott-Raven Publisher, 1999.

[3] W.j.Clancy, “*The frame of reference problem in the design of intelligent machines*”, Architecture for intelligence, (ed. K. vanLen & A. Newell), pp.357-423, Lawrence Erlbaum,1991.
[4] S. Camazine et al: *Self-organization in biological systems*, -Princeton studies in complexity-, Princeton Univ. press, 2001.
[5] 石田好照編著、平山博史、藤田博之、石黒章夫、森一之著：免疫型システムとその応用 免疫系に学んだ知能システム，コロナ社，(1998)。
[6] T. Aoki: *Dream for New-Device-Based Superchip : From Transistors to Enzymes*, Proc. 23rd Inter. Symposium on Multiple-valued Logic, Sacramento, pp.140-149, (1993).
[7] S. Karasawa, : *Self-organization of network on activities for intelligent behaviors*, 9th International Conference on Cognitive and Neural System, Neural Circuits and System, p.20, Boston Univ., May 21, 2005.
[8] S. Karasawa: *Model of linguistic activities as Ad hoc interactive activities in an impulse driven multi-agent system*, The 7th world conf. on Systemics, Cybernetics and Informatics, Vol.14. Orland, Florida, pp.365-370, July, 2003.
[9] 唐澤信司，：活動単位を転送して3次元空間に活動を組織する脳神経回路網モデル，信学技報，MBE2004-15, pp.9-16, Nov, 2004.
[10] 岡田節人，：細胞の社会，B-687,講談社1987。
[11] 宮田隆，：生物の起源と多様性にせまる，-生命科学がわかる-，pp.81, Asahi Shinbunsha Extra Report & Analysis Special Number 35, 1998.
[12] I. Tattersall, :*How we came to be human*, Scientific American, Dec. 2001, 1. 日本語版 タッターソル:現生人類の道,別冊日経サイエンス-人間性の進化-, pp.124, 2005。
[13] “逆引き広辞苑”，岩波書店辞典編集部編，1992。
[14] 風間喜代三，上野善道，松村一登，町田健，“言語学”，pp.38, 東京大学出版会,1993.