

# 言語獲得を可能にする新皮質カラムモデルについて

酒 井 純

## 要 旨

これまでのカラム構造をモデル化し、人間の認知能力を再現する試みにおいて、カラムの階層構造が重視されてきた。このため、上下方向の階層のカラム同士の情報伝達経路が重視される一方で、水平方向へ広がる近隣のカラムとのつながりはあまり重要視されてこなかった。しかしカラムの解剖学的構造を見るとこの水平方向のつながりが非常に強いことがわかり、何らかの重要な役割を果たしていることが考えられる。このため本研究では、この水平方向でのカラムのつながりを、意味を表すネットワークであると考えて、その可能性について考察している。また、これに伴ってカラムの階層構造が、上位へ行くほど上下関係のはっきりしない柔構造を成すと捉え直している。

キーワード：大脳新皮質、カラム、言語獲得モデル

## 1. はじめに

人間がどうやって第一言語を獲得するのか、また言語運用能力がどのような脳の構造に依拠しているかについて、様々な分野の研究が進んできている。

Hawkins (2005) では、脳の認知能力が、大脳新皮質の柱状組織（以下カラムと表記）を中心としたシステムにより成り立っているとされている。酒井 (2008) では、このシステムが言語の獲得・運用能力の基盤にもなっていると考え、これらのシステムに基づく言語獲得をモデル化するとともに、コンピュータ上でシミュレーションする場合の問題点について検討した。

本研究ではまず言語の特徴の1つである二重分節性と、人間が事物を分類するときに用いられるカテゴリー化の理論から、新皮質のカラムを階層構造としてとらえることの妥当性を検討している。カラムの階層構造については酒井 (2008) でも検討しているところであるが、本研究では新たに非ピラミッド型の階層構造について提案する。また、

海馬・扁桃体や視床を含む大脳辺縁系の役割や、カラムそのものの構造についての仮説を立て、カラムによる認知能力の獲得のためのモデル化を行っている。

そして最終的に、言語の理解と意味表示をモデル化・構造化することを目標としている。

## 2. 言語の特徴とカラムの階層構造

### 2.1. 言語の二重分節性とカテゴリー化

言語の特徴の1つに、マルティネの提唱した二重分節性がある。二重分節性とは「言語の実現である発話が、まず意味に応じていくつかの部分または要素に分けられ、その部分あるいは要素が、さらに音の単位にわけられるということである」(言語学大事典)。この2つの段階は第一次分節と第二次分節と名付けられており、前者が意味に応じたいくつかの要素、後者が音の単位にわけられることを意味している(図1)。

また、この二重分節性をもう少し拡張して考えると、言語における1つの要素は、いくつかの要

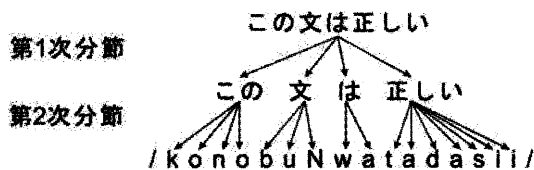


図1 二重分節

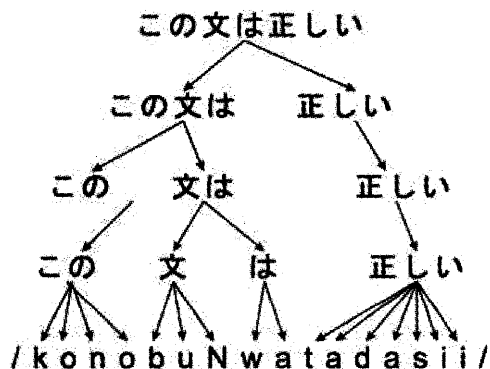


図2 文を構成する要素

素から構成される、ということもいえるであろう。例えば、図2は文と句、語、形態素、音素などの関係を示している。

通常、文はいくつかの文や節から構成されており、またその節はいくつかの句から構成されている。句は1つ以上の語から構成され、語は1つ以上の形態素から構成されている。また、形態素は1つ以上の音素から構成されている。このような意味で、言語の文の構成はピラミッド構造になっていると捉えることができる。

一方で、言語の意味を分類する能力に関して認知言語学でよく用いられるのが、カテゴリー化の概念である。

カテゴリー化とは河上(1996)では「事物から何らかの類似性や一般性を抽出することで、事物間にあるまとまりを認識し分類することのできる能力」、「事物をグループにまとめる認識上のプロセス」としている。例えば、犬というカテゴリーを示したのが次の図3である。

図3に見られるように、カテゴリー理論では、事物はいくつかの階層構造(カテゴリー階層)を持つことがわかり、これもピラミッド型の構造を

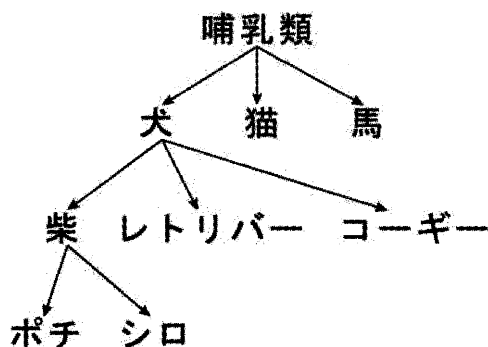


図3 犬のカテゴリー

持つことが知られている。

また、これらのカテゴリーについて、カテゴリー同士の境界がはっきりしておらず、そのカテゴリーを代表する中心的事物と周辺的事物があるというプロトタイプ理論が提唱されている。たとえば、同じ「犬」という概念の中にも、柴犬やレトリバーのような典型的なプロトタイプとされるものもあれば、一方でチワワのように非常に小さかったり、セントバーナードのように非常に大きかったりといった周辺的なものも含まれている。

このような二重分節性やカテゴリー化の概念から、言語の構造が階層構造と親和性が高いことがわかる。この点から言語獲得・運用能力の基盤となる脳のカラムの構造が、階層構造となっていると捉えることの妥当性は高いといえる。

しかし一方で、カラムの全体構造が単純なピラミッド型階層構造ではないのではないかと、という考えに至った。

## 2.2. カラムの構造

酒井(2008)では、図4のようなピラミッド型のカラムの階層構造を想定した。

これは、Hawkins(2005)やGrand(2005)に基づいたモデルであった。この構造は、言語の多重分節的な文法構造や事物を分類するのに用いられる樹形図の影響もあって、一見妥当のようにも考えられる。また人間のカテゴリー化の能力とも親和性が高いようにも見える。

しかしながら、図4の下層にも見えるように、

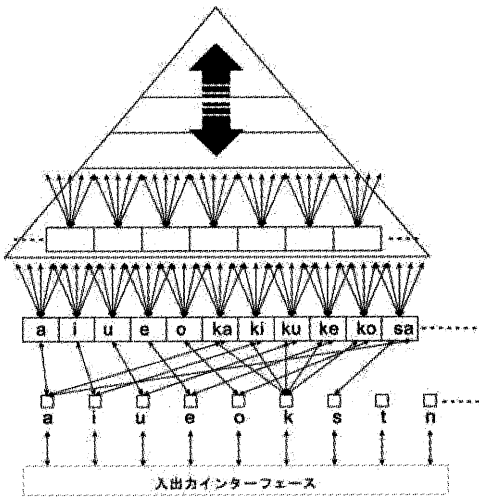


図4 カラムのピラミッド型階層構造

階層間の上下方向のつながりは、一対多の関係ではなく、多対多であることがすでに想定されている。また、上の階層へあがると単純にカラム数が減っていく、ピラミッド型階層構造では問題があるのでないか。つまり、上下のカラムのつながりが1対多の場合、上へ階層が上がるごとにカラム同士のつながりが単純化されて行ってしまう、抽象的な表現ができなくなると考えられる。

また、ピラミッドの頂点に当たる部分には何ができるのか、という問いに対しても明確な答えを用意することは難しいであろう。Grand (2005) では、このピラミッドの頂点こそが大脳辺縁系であると仮定している。しかしながら、辺縁系の器官の1つである海馬が、短期記憶に関わっていることがわかっており(池谷2002)、短期記憶に入る情報=未知の情報全てがカラムの階層を上まで抜けて大脳辺縁系に至る、というのは無理があると考えられる。たとえば、未知の単語が入力されたときに、この単語の情報が文法などを含む全ての階層を抜けて辺縁系に伝えられるとは考えにくい。

では一方で、上の階層ほどカラムの数が多き構造が考えられるだろうか。これも簡単に否定されるだろう。人間の脳の大きさには物理的に決まっており、脳全体でのニューロンの数やカラムを構成する平均的ニューロン数からも、言語野全体で

100~1000万カラムという上限の数が想定される。一見無限に近く見えるが、無限にカラムが増えていく構造はもちろん許容されない。また、ピラミッド型の階層構造では上に行くほどカラム数が減るため、最上位を1つとして決定できるが、上に行くほどカラム数が増えたとするとその最上位を決定することができなくなってしまう。つまり、無限にカラムの階層が重なることとなるか、無理に途中で階層を止めることとなる。この点からも上の階層ほどカラム数が増える構造も無理であることがわかる。

では実際にはどのようなカラムの階層構造が想定されるのだろうか。本研究で仮定するのは、上の階層へあがるほど、カラム同士の左右のつながりが支配的となり、場面によってカラムの階層の上下が入れ替わる構造である。次の図5にその概念図を表す。

Hawkins2005 や Grand2005では、カラム同士の水平方向のつながりはその存在を認めるだけに終わっており、その役割を検討していない。このつながりは階層の上下に関係なく近隣のカラム同士にまたがっていることがわかっている。その水平方向のつながりこそが言語の「意味」として重要な機能であると考えている(8. 言語の理解と意味参照)。

そこで本研究の階層構造では、上の階層へあがるほど、この横のつながりが強くなるのではないかと考えている。運動や感覚に近い下の階層では、上下の階層の情報が支配的であると考えられる。その一方で最上位に近い階層では、抽象的な概念が互いに水平方向でのつながりを強くしており、場面によってその情報伝達順位を入れ替えること

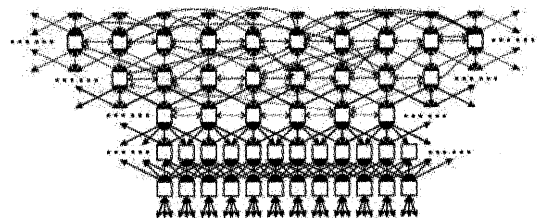


図5 本論で想定するカラムの階層構造

も考えられる。この結果、最上位の階層は場面によって変化し、また階層の層の数も必要に応じて変化することが可能になると考えられる。

またピラミッド型の構造では、最上位のカラムまで情報が伝わるのが重要となってくる。しかしこの構造では、情報が階層を最上位まで上がることが重要なだけでなく、情報が単一のカラムの活性化にまで集約されることが重要になると考えられる。そしてこの情報の集約こそが、言語の「理解」であると考えている。

### 2.3. 大脳辺縁系の役割

酒井 (2008) では海馬や扁桃体などの大脳辺縁系の役割として、カラム同士のシナプス結合の強化や弱化に関わると想定していた。また海馬が短期記憶を司る器官であり、また長期記憶とも何らかの形で関わっていることも検討はしているが、その具体的な手順については理論化することはできなかった。

本研究では、大脳辺縁系がカラムの階層構造全体を影響下に納め、階層構造での情報の伝達状態の監視をしているのではないかと考える。このことにより、酒井 (2008) でカラム同士の接続を強化する働きに、海馬が関わっているという点が説明可能になる。そして、海馬が未知情報を新しいカラムに書き込む=新しいカラムを既存の階層の中に挿入することで、短期記憶が長期記憶に置き換えられるのではないかと考えている。つまり、海馬から個々のカラムへ影響力を行使できる状態にあり、これによりカラム同士のつながりの強化のコントロールと、短期記憶を長期記憶に定着させる役割を海馬が果たすことができるようになっているのではないだろうか。

カラムの階層構造における未知の情報とは、最下層に入力された音声などの具体的感覚情報が上の階層へあがっていく途中で、ある階層のカラムが複数活性化しているにも関わらず、その1つ上の階層で活性化するカラムが見つからない状態と考えられる。このとき、海馬がその1つ下の階層のカラムの活性化パターンに適合するカラムを準備

しシナプス同士の結合を行うことで、新たなカラムの獲得につながると考えられる。

## 3. カラムの解剖学的構造

大脳新皮質は大きくわけて6つの層を成しており、皮質表面の第1層から第6層までとなっている (図6)。

### 3.1. 第1層

第1層は分子層ともよばれ、第2層~第6層までの細胞や大脳辺縁系などから伸びた軸索が、皮質表皮と水平の方向に多数走っている。この層には各細胞の多数の軸索が入るとともに、樹状突起も多数存在している。これらが多くのシナプス結合を成すことで、カラム同士やカラムと辺縁系との情報伝達経路となっている。

### 3.2. 第2層

第2層は星状細胞と多数の小型錐体細胞からなる。これらの細胞の樹状突起は第1層まで伸びており、第1層からの情報を受け取っている。またその軸索は第5層、6層方向へ伸びており、軸索の中にはこれらを通して新皮質の下の白質まで伸びるものもある。また水平方向へも多数の軸索・樹状突起が近隣のカラムの同じ層に伸びていることがわかっている。

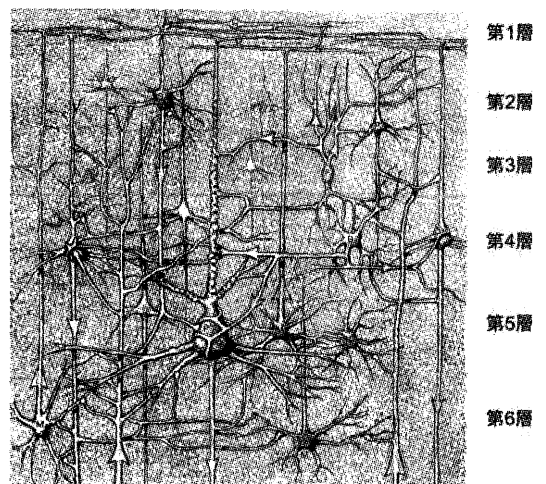


図6 大脳皮質を構成する層 (Poritsky1998より引用)

神経細胞から伸びる軸索は情報の出力経路にあたり、樹状突起が情報の入力経路である。このため、第2層からは情報が第5層、第6層へと多く伝えられていることがわかる。もちろん、水平方向にある近隣のカラムにも情報は伝えられることとなる。

### 3.3. 第3層

第3層である外錐体層は多数の錐体細胞と星状細胞、籠細胞、紡錘細胞からなり、錐体細胞は下層に近い部分ほど細胞体の大きさが大きくなる。この錐体細胞の樹状突起は、第2層と同様に第1層まで伸びており、またその軸索は第4～5層を抜けて白質へと伸びている。

また第3層も水平方向への軸索も多く存在していることがわかっている。第2層とこの第3層では、カラムが活性化状態となると、情報が水平方向に伝えられやすいことが知られている（蓮井2004）。

### 3.4. 第4層

内顆粒層とよばれる第4層は、星状細胞が密集して見られる。この層も水平方向へ多数の軸索・樹状突起が伸びており、外パイラルジア線条とよばれる。外部の感覚や他のカラムからの情報はこの第4層に入り、その出力は同じカラムの第2層・第3層、また第5層に出されることが知られている（Shepherd,1998）。

### 3.5. 第5層

第5層、内錐体層には大型の錐体細胞が存在し、星状細胞およびマルチノッチ細胞も見られる。この層でも水平方向への軸索・樹状突起が多く存在し、内パイラルジア線条とよばれる。第5層から出力された情報は、大脳辺縁系を経て運動野に送られる。また同時に辺縁系から第1層にフィードバックされる回路があることも知られている。

### 3.6. 第6層

第6層の多形細胞層では、名称の通り様々な細胞が存在する。その中では紡錘形細胞が多いが、錐体細胞、マルチノッチ細胞も見られる。第6層から出力される情報は、下の階層のカラムの第2層と第3層へと伝えられる。

これらの各層が重なって1つのカラムを構成し、統合的に機能することはわかっているが、まだまだ不明な点も多いと言われる。このため様々なカラムのモデルが提唱されている。次章では代表的な2つのモデルに触れるとともに、その問題点について述べる。

## 4. Hawkins2005, Grand2005でのモデル

Hawkins (2005) および, Grand (2005) では, 上へ向かう方向の情報の流れと, 下へ向かう情報の流れに注目されている。まず, 上へ向かう

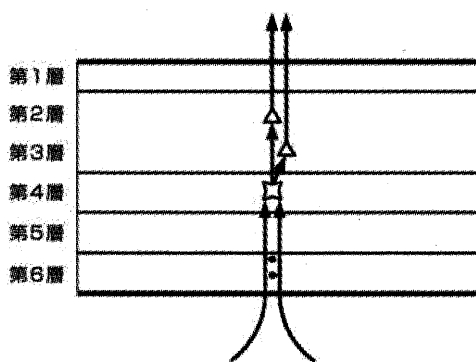


図7 Hawkins 2005 上方向への情報の伝達

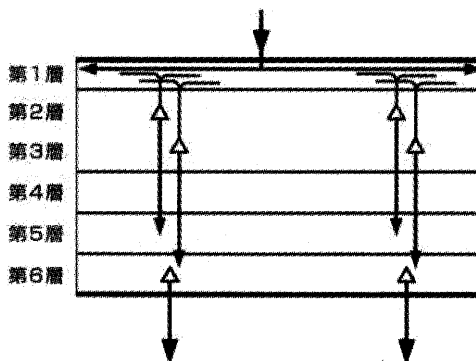


図8 Hawkins 2005 下方向への情報の伝達

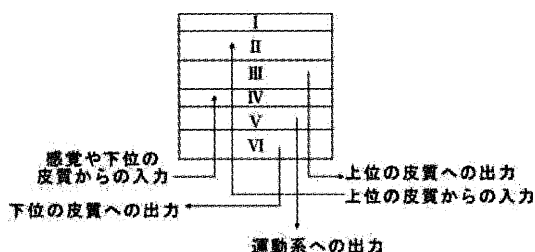


図9 Grand 2005 上下方向への情報の伝達

情報の流れとして、下位の階層のカラムからの出力と、視覚や聴覚などの感覚器官からの情報が、新皮質の下白質を經由して第4層へ入力される。この情報は、第2層および第3層へ伝えられる。Grand (2005) では、上方向への流れで関わるのは、第3層であるとしている。

次に、第2層および第3層へ入力された情報は、第1層へ出力されてその軸索を通じて上位の階層のカラムへ送られる。このときカラム本来の構造からすると、水平方向への軸索を通じて近隣のカラムへも情報が伝達されるが、Hawkins2005やGrand2005では、この水平方向への情報伝達についてほとんど触れられることはない。

一方で、第1層を通じて上位の階層のカラムから入力される下方向への情報の流れは、まず第2層、第3層へ入力される。これらと、第4層第5層の情報も利用しながら第6層へ情報が入力され、これが第6層から下位の階層のカラムへと出力される。

また、上下両方向の情報から第5層へ入力された情報は、運動を司る運動野へと伝えられると同時に、大脳辺縁系へと出力される。この辺縁系へ入力された情報は、最終的に第1層へと入力され、各カラムにフィードバックされると考えられている (Hawkins 2005)。

## 5. カラムの反応と順序

これまでの研究で、あまり積極的に扱われていない問題として、カラムの反応とその順序の問題がある。1つ下の階層のカラムが活性化する順序は、その上の階層への入力として何らかの影響が

あるのだろうか。たとえば、同じ3つのモーラを持つ「田中、高菜、中田、彼方、刀」がモーラの階層のカラムで処理されるとき、その1つ上の形態素の階層ではこれらの形態素をどのように区別しているのだろうか。図10は、カラム同士の接続を単純に表したものである。

もちろん、通常であればモーラ以外の情報も様々利用されるが、今ここではモーラのみ情報によるとする。ここでは同じ「カ、タ、ナ」という3つのモーラを用いる語をあげている。この3つの同じモーラを利用しながら、上記5つが別の形態素として認識されるには、その出現順を何らかの手段でカラムが認識しているはずである。

もし順序が認識されないのであれば、「タナカ」というモーラの入力に対して、「タカナ」も「ナカタ」も他の形態素のカラムも活性化するはずである。しかし実際には必要とされる「タナカ」にあたるカラムだけが活性化する。

このためには、最初の「タ」というモーラが入力された時点で、「タ」から始まる形態素のカラムが活性化し、それ以外のモーラから始まる形態素のカラムは活性化が抑制されるのではないだろうか。たとえば、下の階層のカラムからの情報が入力される第4層には、錐体細胞の活性化を抑制する箆細胞の存在が知られており、この細胞が何らかのきっかけによって他の細胞の活性化を抑制することで、順序にあったカラムのみが活性化することになるのではないだろうか。

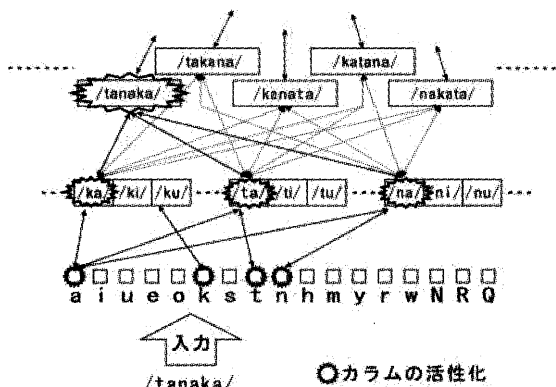


図10 カラムの反応の順序

また、このようなカラムの出現順についての問題の解決する仕組みの1つとして考えられるのが、神経細胞の軸索による信号伝達において、太さや長さによって伝達速度・伝播タイミングが異なることである。もし、カラム同士の接続にそれぞれ異なる伝播タイミングが設定されていれば、順序の異なるカラムの活性化と抑制が効率よくできるのではないかと考えており、今後の検討課題の1つとしたい。

## 6. カラムのモデル化

これまで述べてきた Hawkins2005 や Grand 2005でのモデル化を踏まえた上で、本研究でのカラムのモデルを提示する。上記2つのモデルとの大きな違いは、カラムの垂直方向に沿った情報の流れだけでなく、水平方向に沿った情報の流れにも注目している点である。

次の図11は、本研究でのカラムモデルの概念図である。

図11は、階層構造の中間層に位置する典型的なカラムとしてモデル化を行っている。入出力の系統としては、上位カラムへの入出力、下位カラムへの入出力、近隣カラムへの入出力が第2・3層と第4層の二系統、また運動系につながる大脳辺縁系への出力が一系統となっている。また、第5層での近隣への入出力についても言及する。

このモデルではカラムを縦長の長方形として抽

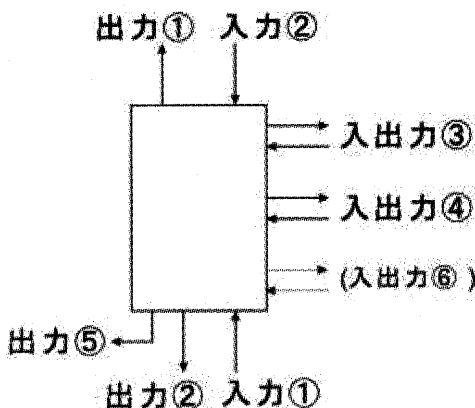


図11 カラムの情報の入出力

象化しており、カラムの垂直方向への入出力は、カラムの階層の概念上の上下と一致させている。このため物理的な配置とは一致していない部分もある。例えば上方の入出力は上の階層のカラムとつながっているが、そのカラムが物理的に上にあるわけではない。一方で水平方向の入出力については、物理的な配置とほぼ一致している。また、どの入出力も複数のカラムや大脳辺縁系と接続されているが、ここでは模式的に1本にまとめて図式化している。

### 6.1. 入力①

まず入力①であるが、これは下の階層の複数カラム、および複数の感覚野からの入力を想定している。入力元は下の階層のカラムと感覚器官の2種類があるが、特に区別をして入力していない。その一方で6章のカラムの反応と順序で述べたように、下の階層のカラムの入力の順序を判断できる仕組みか、または情報の入力にはそれぞれ時間差を想定する必要があると考えられる。

この入力①への情報の入力が、最初に決定づけられたパターンだった場合、カラム全体が活性化状態となり、他のカラムなどへの出力が行われる。ただしカラム全体の活性化には入力②など他のカラムからの入力が重要になると考えられる。

### 6.2. 出力①

次に出力①についてである。この出力は、上の階層の複数のカラムと、大脳辺縁系に接続されていると考えられる。そして、入力①～③などの情報を元にカラム全体が活性化した時に、出力①から上の階層のカラムへと情報が伝えられる。

また、大脳辺縁系への情報は、その情報が未知であるのか既知であるのかを判断するのに使われると考えられる(2.3.大脳辺縁系の役割参照)。

### 6.3. 入力②

入力②は、上の階層のカラムから情報を受け取るための経路としている。この情報経路の接続先も多数のカラムが想定される。例えば、「夕」と

いうモーラにあたるカラムであれば、「タ」というモーラを含むすべての形態素のカラムと接続が成されていなければならない、非常に多くのカラムとの接続が想定される。

また、この上の階層からの情報は今後下の階層から入力される情報の「予測」となっており、下層からの入力と併せてカラム全体の活性化に重要な役割を果たすと考えられている。

#### 6.4. 出力②

出力②は、下の階層のカラムへの出力である。上の階層のカラムからの情報を元に、第2層や第3層の情報、また下の階層からの情報も併せてカラム全体が活性化することで、下の階層への情報が出力される。この情報が下の階層に伝わることにより、入力前に「予測」を立てることが可能になる。

#### 6.5. 入出力③

入力③は、第2層・第3層での水平方向の情報の伝達経路による入力を表している。この水平方向の伝達経路の分布が言語の意味を表していると考えられ、ここではカラムの活性化のための情報の1つとなっている。また、カラムの階層が上位に行くほど、この水平方向の入力が多くなると仮定すると、その情報が入力②の情報量を超えることで、階層構造の柔構造化が可能になると考えられる。

出力③は、入力③同様に第2層・第3層での水平方向の情報の伝達経路による出力を表している。現在は第2層と第3層での水平方向のつながりを、単一の入出力として扱っているが、これはこの2つの経路の役割の違いがはっきりしていないためである。

#### 6.6. 入出力④

入出力③が、関連した項目へ情報を伝達し、そのカラムの活性化を助ける働きをするのとは逆に、入出力④は近隣のカラムへの活性化抑制情報を伝達していると考えている。これは第4層の外バイ

ラルジア線条による伝達を考えている。第4層には錐体細胞の活性化を抑制する働きをする箆細胞が存在することがわかっており、この細胞が働くことにより1つのカラムが活性化した時に、近隣の似た意味を持つカラムも活性化することを抑制するのではないかと考えられる。

#### 6.7. 出力⑤

カラムの第5層の錐体細胞の軸索からの出力を出力⑤としており、これは大脳辺縁系の海馬を経由して運動野へと情報を送っている。この情報伝達のきっかけもカラム全体の活性化であり、特に第2層・第3層の活性化が契機となると考えられる。

またこの出力は運動野への情報伝達とともに、海馬を経由して第1層にも戻っている。この時戻される信号は、海馬を経由する分だけ遅れて戻ってくると考えられ、Hawkins2005ではこのフィードバック回路によって入力情報の順序の学習と、情報の進行状況を確認するための役割を果たしているとしている。

#### 6.8. 入出力⑥

入出力⑤までは、その役割がある程度わかっているが、現時点でこの入出力⑥はその役割が不明である。第5層の水平方向への情報伝達経路である内バイラルジア線条の存在があり、これを入出力⑥と定義しているが、今回のモデル化には組み込んでいない。ただし、この伝達経路も多数の軸索、樹状突起が通っており、今後その役割の解明が望まれる。

### 7. カラム活性化の手順

以上のような、階層構およびカラムモデルを前提に、新皮質および大脳辺縁系においてどのように言語が理解されるのか、その手順をまとめたのが次の図12である。

まず、近隣のカラムから入力③、また上の階層のカラムから入力②が入ってくることで、カラム全体が活性化する。これは、上層からの「予想」



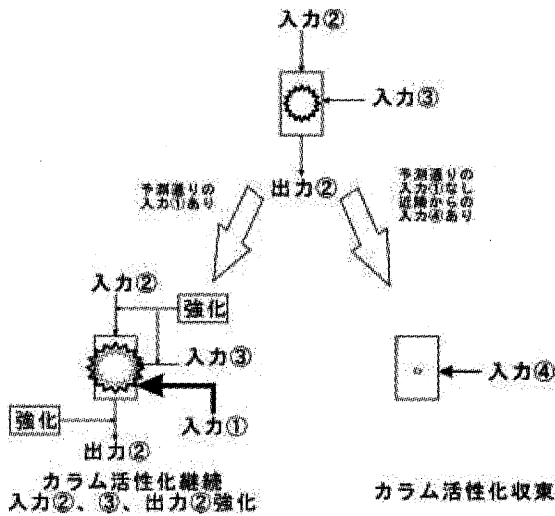


図12 カラム単位での「理解」

による活性化の段階である。この結果、出力②に予想情報が出される。

この後出力②と接続されているのと同じカラムからの入力①があった場合（図12左下）、これは出力②から出された予想情報が的中した状態であり、改めてカラム全体が活性化しする。同時にここまでで情報が入出力された経路について、シナプスの結合が強化される。

この逆に、出力②と接続されたカラムからの入力①がない場合（図12右下）には、予想情報が外れたこととなる。このときにはカラム全体が活性化することはない。そして、近隣のカラムから入力④があった場合には、これが抑制となりカラムの活性度は減衰する。

## 8. 言語の理解と意味

これまでの言語獲得の研究では、言語を理解し、意味を獲得することを明確に説明できているモデルはほとんどない。本研究では、カラムの垂直方向でのつながりだけでなく、水平方向でのつながりを想定することにより、カラムの階層構造により言語の理解と意味の獲得が可能になると考えている。

新皮質全体のカラムの構造としては、先に述べ

たように最上位の階層が曖昧であり、場面によりその情報伝達順位がはっきりしない柔構造を想定している。そして、この階層構造で垂直方向の情報の伝達を「理解」、水平方向の情報の伝達を「意味」と捉えることができるのではないかと考えている。

まず垂直方向の情報伝達であるが、ここでは他の人の発話が、聴覚を通じて入力された場合を考える。

他の人から発せられた発話は、空気の振動を媒介として聴覚器官に入り、視床を通じて新皮質に入力される。この連続した音声は、まず最下層のカラムで複数の音素列として認識される。これら複数の音素列は1つ上の階層でモーラとして認識される。

入力が音声の場合を含め、言語の入力は線条性を持っている。文がその先頭から入ってくるのと同時多発的に、様々な階層のカラムが順に活性化して、段階的に形態素→語→句→節→文として階層を上がるごとに要素数を減らしていく。そして「文または発話全体」という単独の要素に集約され、1つの文に当たるカラムが単独で活性化した時点において、その文が「理解された」ととらえることができるであろう。つまり、複数の情報の入力に対して、階層を順次あがっていくことでその要素数を減らし、最終的に単独のカラムに行き着いた状態＝理解された状態と定義できる。ただし、最後に活性化する単独のカラムが、最上位の階層にあるカラムである必要はない。

逆に情報を「理解できない状態」または「未知の情報」とは、入力された発話が解釈され、階層を上がる途中において、ある階層が複数活性化しているのに対して、これに対応して活性化する次の階層のカラムがない状態をさすと理解することができる。このときに海馬が新たなカラムを準備し挿入することについては（2.3. 大脳辺縁系の役割）に述べた通りである。

一方、意味を獲得するという事は、どのような状態と定義できるであろうか。本研究ではカラム同士の水平方向のつながりを基盤とした、分散

的ネットワークで意味が表されると考えている。これは、上記で述べた第2層から第5層にそれぞれ存在する、水平方向への情報伝達線維の広がりとして実現していると考えられる。たとえば「くるま」という単語に対応するカラムが活性化したときに、水平方向のカラムのつながりにより、情報を受け取るカラムの情報量の行列で表されると考えられる。「自動車、タイヤ、ハンドル、乗り物」といった情報量を多く受け取るカラムから、「ミツオカ、フライホイール」といったあまり情報量を受け取らないカラムまでの集合体を含む総体はその単語の意味となる。もちろんここには箱形や凸型の視覚情報やぶーぶーといった聴覚情報に対応したカラムも含まれる。この情報量の違いは、プロトタイプ的な意味から、周延的な意味への違いを表すことになると考えられる。

また、形態素レベルから文や文脈レベルまで、それぞれの段階での意味を考えられることも、このシステムにより再現できると考えられる。

## 9. おわりに

脳の構造が、カラムを基本単位とした階層構造からなることは証明されつつあるが、その細かな構造はまだまだわかっておらず、そのモデル化についても研究者によって異なっている。またこれまではこの階層構造における上下方向のつながりが重視され、横方向のつながりについてはあまり検討されてきていない。

本研究では、カラムの階層構造での言語獲得をモデル化することを試みた。これにより、カラムの垂直方向での情報の伝達により「理解と予測」が働き、カラムの水平方向での情報の伝達により「意味」が表されると考えるに至った。また、この水平方向の伝達により、カラムの階層構造を上に行くほど上下関係が曖昧となる柔構造と捉える

ことができ、新たな形での言語の意味と理解の構造をモデル化することができたと考えている。

もちろん様々な仮説や、想像の域を出ない仮定を積み重ねている部分も多く、今後の検証が必要である。このため、言語獲得モデルとしての妥当性をはかるためにも、実際のカラムに関する研究を進めるとともに、この言語獲得モデルのコンピューター上での再現と、シミュレーションを行うことが望まれる。

## 参考文献

- R. Cotterill, 1998, *Enchanted Looms*, Cambridge University Press
- S. Grand 著, 高橋則明訳 2005『アンドロイドの「脳」アスペクト』
- J. Hawkins, S. Blakeslee 著, 伊藤文英訳 2005『考える脳 考えるコンピューター』ランダムハウス講談社
- J.C. Horton & D.L. Adams, 2005, *The cortical column: a structure without a function*, *philosophical transactions of the royal society*
- V.B. Mountcastle, 1998, *Perceptual Neuroscience- the cerebral cortex*, Harvard University Press
- R. Poritsky 著, 嶋井和世訳 1998, *Neuroanatomy- a functional atlas of parts and pathways*, 広川書店
- G.M. Shepherd, 1998, *The synaptic organization of the brain*, Oxford University Press
- F. Ungerer H. Schmid 著, 池上嘉彦ほか訳 1998『認知言語学入門』大修館書店
- 池谷裕二, 糸井重里 2002『海馬 脳は疲れない』朝日出版社
- 唐澤信司 2007「視床で中継される情報を大脳新皮質で分析する活動モデル」『信学技法2007』
- 河上誓作 1996『認知言語学の基礎』研究社
- 酒井純 2008「大脳新皮質型人工知能による言語獲得モデルについて」『神戸親和女子大学 研究論叢』第41号 p.11-22
- 蓮井亮介, 小山内実, 八木哲也「視覚野スライスにおける電氣的活動の多点同時測定」『信学技法2003』