

Neuroidal Net

～ニューロイダルネット～

脳の仕組み

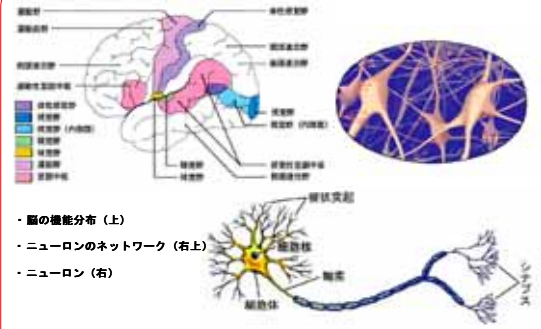
西野研究室ではコンピュータサイエンスの立場から脳機能解明の研究を行っています。

脳は、人間の活動や、思考・記憶・感情・言語など高度な働きを司っています。

脳には 10 億を越えるニューロン(神経細胞)が存在し、これが網の目のようにつながり、膨大なネットワークをなしていることがわかっています。ニューロンは右図のような構造をしており、情報を伝えるため、シナプスという独特の接続部で他のニューロンと接続をしています。

あるニューロンに、他の多数のニューロンから伝わった刺激がある量(しきい値)を超えた時、このニューロンは発火し、軸索・シナプスを通じて、次のニューロンに刺激を伝えていきます。

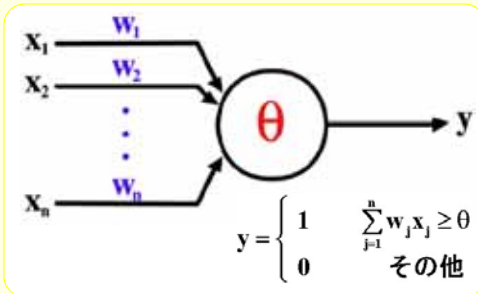
現在、人間の脳機能解明については、理解されていることは少なく、脳の情報処理方法は本質的には未解決問題になっています。



・脳の機能分布(上)
・ニューロンのネットワーク(右上)
・ニューロン(右)

しきい値回路

ニューロンをモデル化したものとして、McCulloch と W. Pitts は下図のような「しきい値論理素子」を考案しました。



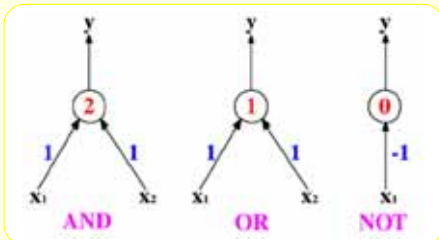
この素子の動作は次のようになります。

まず、各入力(x_j)それぞれに対して、重み(w_j)が掛けられ、その総和が素子ごとに決められたしきい値(θ)以上となった時、出力(y)として 1 が得られ、それ以外の時には出力は 0 となります。

ここで、各入力と出力はブール値(0 か 1)となります。

また、このしきい値論理素子を多数結合させた回路がしきい値回路となります。通常のブール回路で行える計算は、しきい値回路でも計算することができ、さらに、ブール回路で構成するよりも浅い回路を構成できる可能性があります。

以下に示したのはこのしきい値論理素子を用いて、AND・OR・NOT の動作をする回路を構成したものです。



このしきい値回路を拡張し、計算だけでなく学習も行えるようにしたものが、ニューロイダルネットです。

ニューロイダルネット

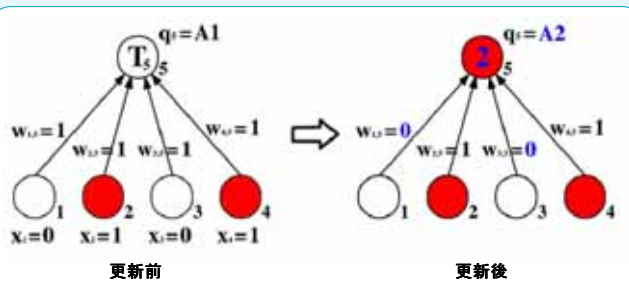
脳のある種の回路と考えた時、この回路がどのようなものかと理解することは非常に難しくなります。そこで、柔軟性を持ち、プログラム可能なモデルとして、L. G. Valiant はニューロイダルネット(Neuroidal net)を定義しました。

この回路を構成するひとつひとつのノードをニューロイド(neuroid)と呼びます。ニューロイドは、しきい値論理素子に「状態」と「タイミング」の機能を組み込んだものです。

ニューロイダルネットを定義するために必要な要素は以下の五つです。

- ・ $G: G=(V, E)$ で表される有向グラフ
- ・ W : グラフの辺がもつ重みの集合
- ・ $X: (q, T)$ で表されるモードの集合
 q は状態の集合, T はしきい値の集合
- ・ モード更新関数 $\delta: X$ の更新の為の条件式
- ・ 重み更新関数 σ : 辺の重みの更新の為の条件式

ニューロイダルネットの例を以下に示します。



このニューロイダルネットに次の更新関数を適用すると、図のように変化します。

$$\{ q_i = A1 \} \Rightarrow \{ q_i = A2, T_i := w_i, \text{ if } f_j = 0 \text{ then } w_{ji} := 0 \}$$

上の更新関数は、モード更新関数 δ と重み更新関数 σ を一緒に書いたもので、状態 A1 にあるニューロイドを状態 A2 に変化させ、そのしきい値を現在の重みの総和に更新し、発火していないニューロイドから状態 A1 のニューロイドへ向かう辺の重みは 0 にせよ、という規則です。

更新によって、ニューロイド 5 は、ニューロイド 2 とニューロイド 4 の AND の概念を学習させる事ができます。

脳機能の解明

言語機能の解明

現在、脳に対して多くの人たちが興味を持ち、脳の研究が活性化してきています。

人間の脳のメカニズムを知るとは魅力的なことであるとともに、科学的、社会的、経済的にも大きな意味をなすと考えられます。

しかし、人間の優れた脳機能の根本的動作原理は今だ説明されておらず、その中の1つとして言語機能があげられます。

例えば、人間は、赤ん坊の頃から意図的に教えることなく言語を獲得することができますが、なぜそのようなことができるのでしょうか？

我々は、このような人間の言語機能のしくみの解明のために、理論計算機科学の手法を用いて研究しています。

語彙機能文法

語彙機能文法は、1982年にJ. BresnanとR. M. Kaplanによって提唱されたもので、意味の世界への橋渡しの役目も含むような機能構造を備えています。

語彙機能文法において、例えば、「健が奈緒実を嫌っている。」という文は下図のような構造を持つことになります。

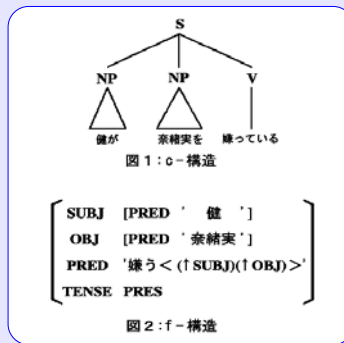


図1はc-構造と呼ばれ、文全体が大まかに3つの部分に分類されることを表しています。

図2はf-構造から一定の手続きで導かれる機能構造で、f-構造と呼ばれます。これは、文全体の意味的な構造も表しています。

失語症メカニズムのモデル化

失語症とは、脳の損傷により、言語を話したり、理解したりすることが困難となる症状のことです。

- ・ブローカ領域の損傷では、話している内容は分かりますが、発話することが困難になります。
- ・ウェルニッケ領域の損傷では、聞いた言葉が理解できなくなります。

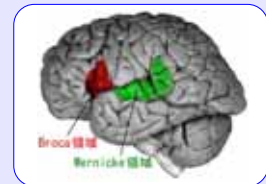
このように、損傷の部位によって、異なった症状が出ます。

失語症の研究により脳と言葉についての研究が飛躍的に進歩しました。

本研究室では、理論計算機科学の立場から、

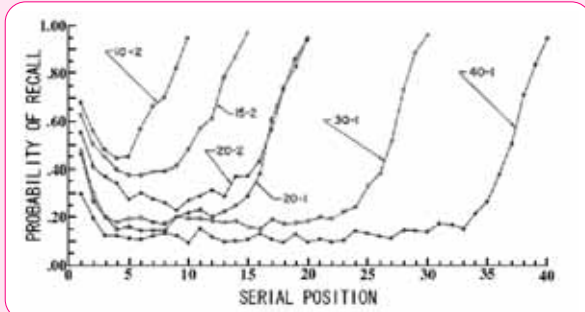
- ・言語学、認知科学の理論を元に、人間の言語処理過程をニューロイドネットワーク上でモデル化する。
- ・構成したモデルの振舞いを、失語症の症例と比較する。

というアプローチによる失語症メカニズムの解明を目指しています。



短期記憶メカニズムのモデル化

例えば、30個、30種類の記憶項目を1つ1つ被験者に提示した後、自由な順番で、できるだけ多くの項目を思い出してもらおう実験があります。この実験から、短期記憶に関する様々な特徴の存在がわかっています。



- ・最初の数項目の成績が良い。(初等効果)
- ・最後の数項目の成績が良い。(親近効果)
- ・中間の項目の成績がほぼ一定である。
- ・提示する項目数が増えると、初等効果と中間の項目の再生率が下がる。

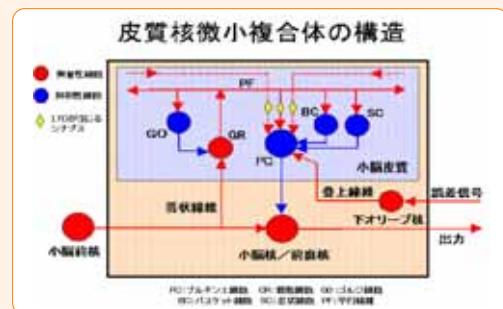
このような短期記憶の特徴を実現している脳内のメカニズムは、どのようなになっているのでしょうか？

本研究では、人に対する実験データとモデルの振る舞いを比較、検討することによって、短期記憶メカニズムのモデル化を目指しています。

小脳の学習機能

従来、運動制御を行う部位であると考えられてきた小脳ですが、最近では思考活動にも大きく関与することがわかってきました。それでは、小脳はどのようにして多様な処理を学習しているのでしょうか。

規則正しい構造を持ち、5種類の神経細胞が存在する小脳皮質は、小脳核や下オリーブ核といった神経細胞群と結び付き、皮質核微小複合体と呼ばれる構造を形成しています。小脳皮質のプルキンエ細胞のシナプスでは、平行線維からの入力とエラー信号の相互作用によって長期抑圧(LTD)が生じます。この長期抑圧によって入出力特性が変化することにより、小脳の学習が行われたことになるのです。



当研究室では微小複合体のシミュレータを作成し、小脳の学習機能についての研究を行っています。