

脳の神経回路モデル

電気通信大学 情報通信工学科 西野研究室

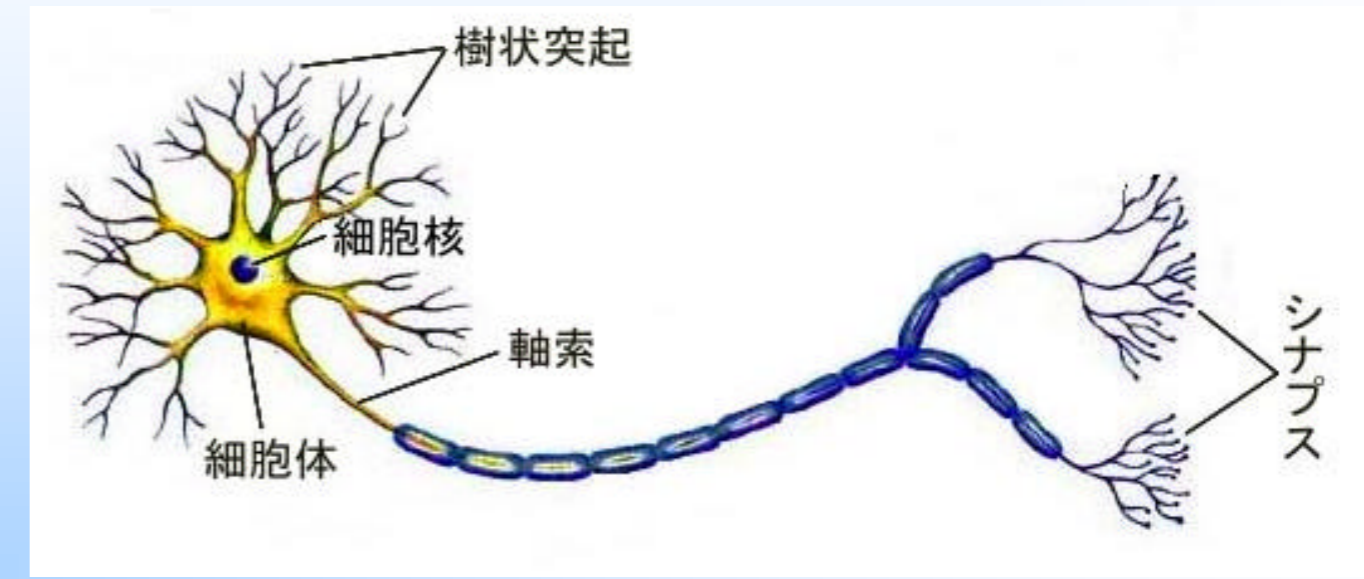
神経回路の構造

人間の脳は千数百億あると言われている膨大な数のニューロンという神経細胞がおりなす巨大なシステムで様々な情報処理を巧みにこなしています。

ニューロンは右図のような構造をしていて、シナプスと呼ばれる接続部で他のニューロンと接続しています。

全てのニューロンではそれぞれ閾値(しきい値)と呼ばれる値をもっており、他の1つ以上のニューロンからの刺激の総和が閾値を超えたとき、そのニューロンは興奮(発火)状態になり自身も他の細胞に対して刺激を送り出します。

この様にして次々に刺激が伝わっていきます。



ニューロンのネットワーク

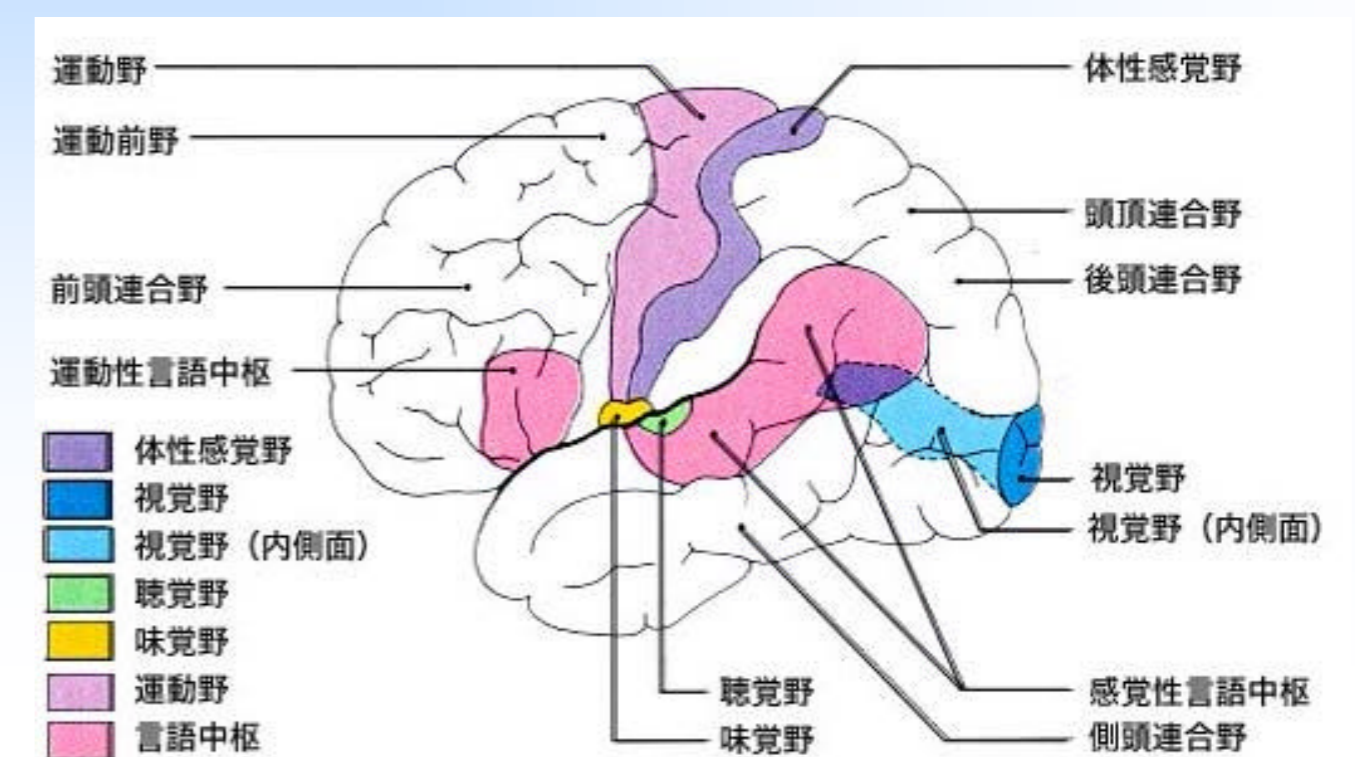
脳はこの様に複雑な接続構成によって情報処理を行っています。

ニューロンには大別して二種類存在します。一つは自分の刺激が相手を興奮状態になるように刺激(プラスの刺激)を送るニューロン。もう一つは反対に相手が興奮状態にならないように刺激(マイナスの刺激)を送るニューロンです。

前者を興奮性ニューロン、後者を抑制性ニューロンと呼んでいます。

また、実際の脳では一つのニューロンが数万、数十万のシナプスから刺激を受けています。

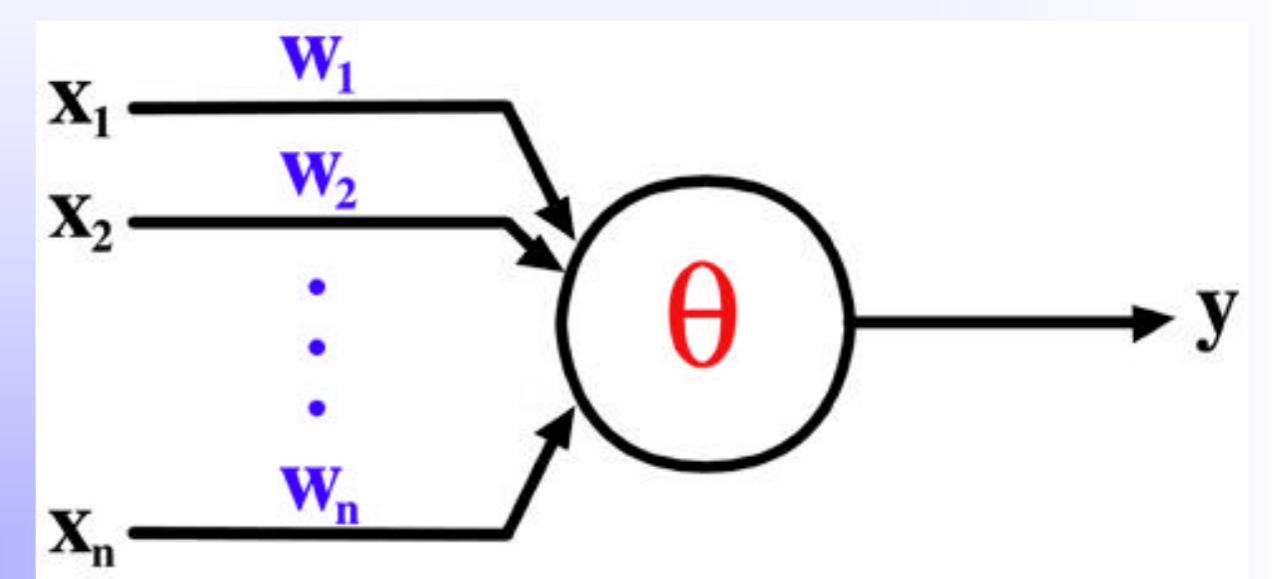
ニューロンは多くの興奮性ニューロン、抑制性ニューロンから刺激を受け取りその刺激がある値を超えると自身も他の細胞に刺激を送るのです。



ニューロイダルネット

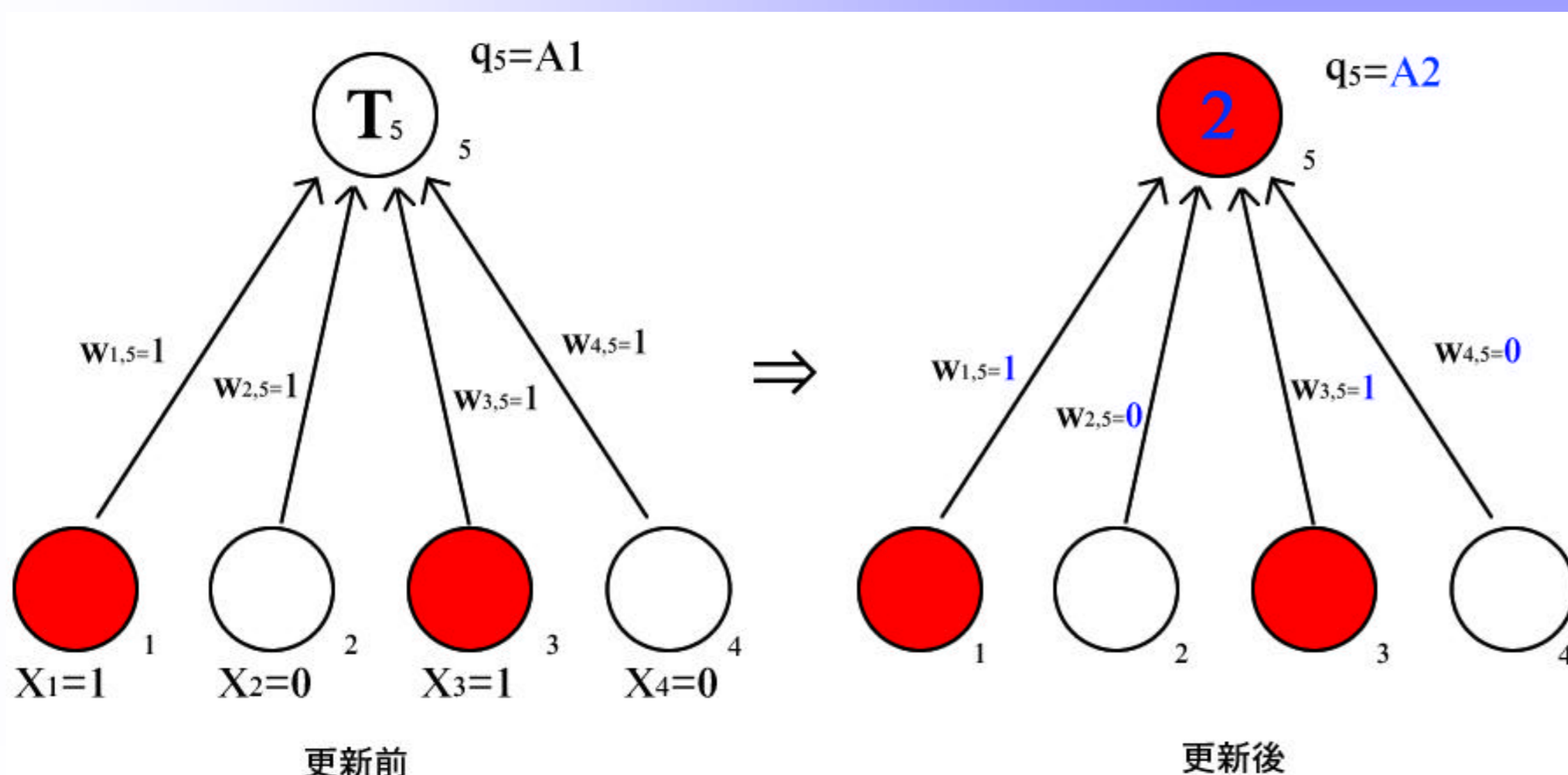
ニューロイダルネットは、L.G.Valiantにより定義されました。ニューロイダルネットでは各ノードのことを「ニューロイド」と呼びます。このニューロイドは線形しきい値素子に、「状態」と簡単な「タイミング」メカニズムを組み込んだものです。

線形しきい値素子を右図に示します。この素子は、入力 x_i と重み w_i を掛け合わせ、その合計がしきい値以上であれば1を、そうでなければ0を出力するという動作をします。



ニューロイダルネットを定義するのに必要な要素は、以下の5項目となります。

- G : $G = (V, E)$ で表される有向グラフ
- W : グラフの各辺が持つ重み
- X : (q, T) で表されるモードの集合
 - q: 状態, T: しきい値
 - : モード更新関数
 - Xを更新するための条件式
 - : 重み更新関数
 - 重みを更新するための条件式



左図は、ニューロイダルネットと、その更新を表したものです。左のニューロイダルネットに以下の更新関数を適用すると、右のニューロイダルネットに更新されます。

$$\{ q_i = A1 \} \rightarrow \{ q_i = A2, T_i = w_i, \text{ (モード更新関数)} \}$$

$$\text{if } f_j = 0, w_{ji} := 0 \text{ } \{ \text{重み更新関数} \}$$

ここで、 w_i は w_{ji} の総和を表し、 f_j はj番目のニューロイドが発火しているとき1、そうでないとき0を表すものとします。

文章で説明すると次のようになります。ニューロイドの状態がA1ならば、状態をA2に、しきい値を w_i に更新せよ(モード更新)。また、発火していないニューロイドからの辺の重みを0にせよ(重み更新)。この更新により、ニューロイダルネットは論理回路で言うところの1番目と3番目のニューロイドの「AND」を学習したことになります。同様に「OR」や「NOT」の学習もできるため、ニューロイダルネットは少なくとも論理回路と同等の計算能力を持つと考えることができます。

脳機能のモデル化

電気通信大学 情報通信工学科 西野研究室

言語獲得のモデル

人の言語獲得

人間は普段特に意識することなく脳機能(記憶、学習、推論等)を用いていますが、その機能がどのような情報システムによって実現されているかはそのほとんどが解明されていません。

その人間の脳の活動の中で未だ解明されていないものとして言語機能があります。

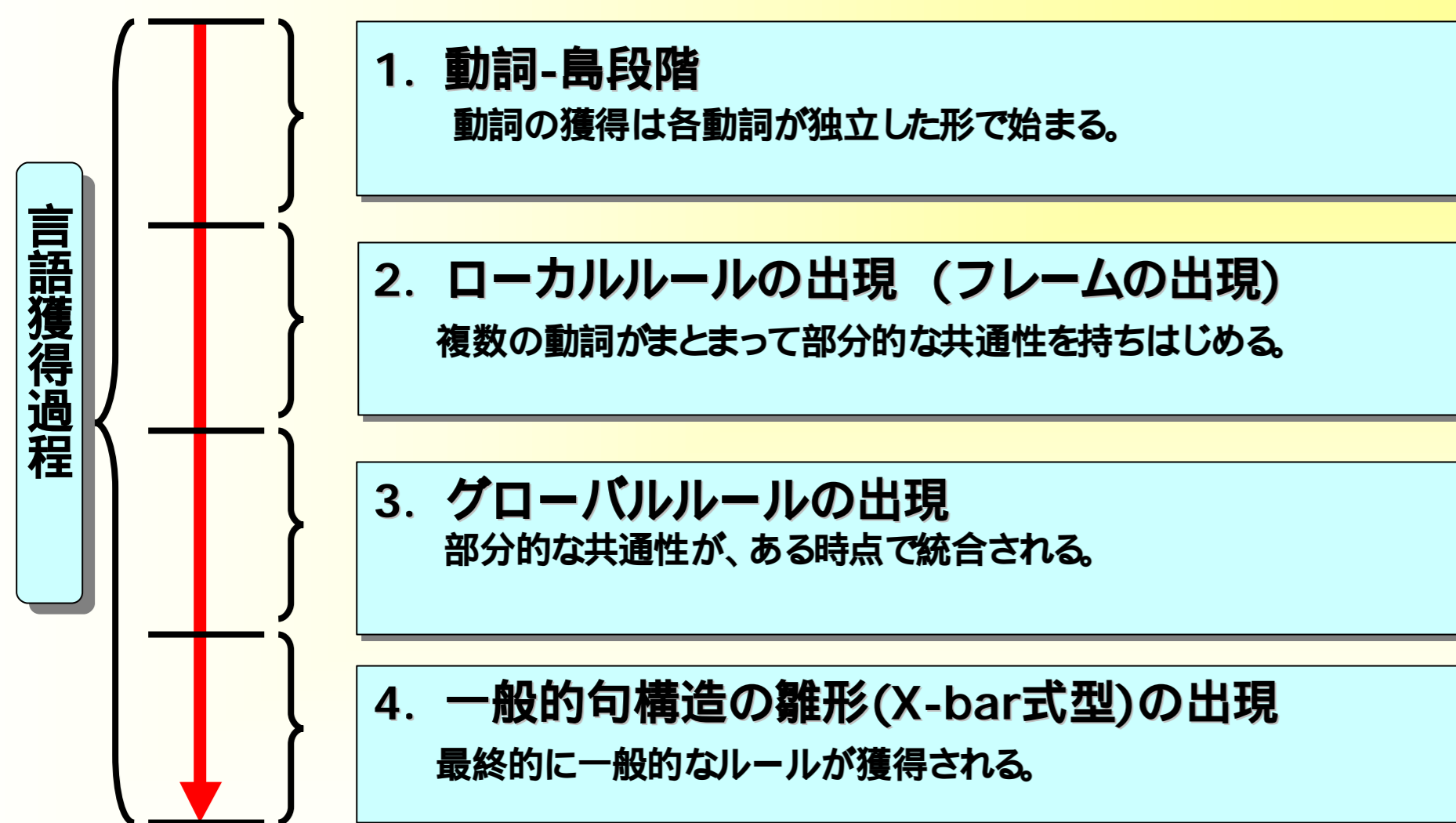
文字とは異なり、人は誰からも明確に教わることがなく自分の国の言語を習得することができ、話すことができます。人が言語を習得するために、脳ではどのようなメカニズムが働いているのでしょうか。

普遍文法

言語を習得するためには、正しい語順、文の構造、文法、および適切な語句を獲得する必要があります。しかし何もいまいっさらの状態から学習を行うと有限オートマトンまでしか学習できないことが証明されています。この有限オートマトンでは大人の言語を表現することはできません。

このことから、人は生まれつき何らかの言語獲得のための文法を保持していると考えられていて、これを普遍文法と言います。生得的な普遍文法がどの程度であるのかについては、様々な議論がなされています。

幼児の言語獲得過程



幼児の言語獲得

子どもはまず、「あーあー」や「うーうー」といった発声の練習である喃語を発声し、単語を喋れるようになり、簡単な文を話せるようになります。

この単語を話せる段階から、簡単な文法を獲得する幼児の言語獲得過程は動詞に注目して分けると図のように、4段階に分けることができます。

当研究室では現在、この幼児の言語獲得過程を脳の数学モデルを用いて、モデル化する研究を行っています。

運動学習のモデル

小脳モデル

運動制御は小脳で行われていると考えられています。

小脳の表面付近には、規則正しい構造で神経細胞が密集する小脳皮質と呼ばれる領域が存在します。小脳皮質内には、5種類の神経細胞が存在し、小脳核や下オリーブ核といった神経細胞群と結びつくことで、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誤差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ます。

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。

瞬目反射反応

小脳の機能解明をする目的で行われている神経生理学実験の一つに、瞬目反射実験(eyelid conditioning)があります。

実験では動物に条件付けではない刺激(US)として目にエアパフをあて、まぶたを閉じさせます。

次に条件付けさせる刺激(CS)として音を聞かせます。

この2つの刺激を繰り返し与えることによって、音を聞くだけでまぶたを閉じるような条件反応(CR)を起こすようにします。

この実験から、運動学習に関する様々な特徴が分かっています。

- CS (音)とUS (エアパフ)の連合性によって、CR (まぶたを閉じる)の習得がなされる。
- CR (まぶたを閉じる)が適切なタイミングで起こる。
- 習得後US (エアパフ)を与えずCS (音)のみを与えることにより、CR (まぶたを閉じる)が消失する。
- 一度習得したCR (まぶたを閉じる)はすぐに再現できる。

現在、モデル化した皮質核微小複合体を用いて、瞬目反射反応をシミュレートする研究を行っています。

皮質核微小複合体構造

