

# 1 ニューラルネットワークとは何か

## 1.1 生物に学ぶ

### 1.1.1 脳の神経細胞

神経細胞には大きくわけて

- 錐体細胞 (pyramidal cell)
- プルキンエ細胞 (purkinje cell)
- 星状膠細胞 (astrocyte)

の3つがある。この3つのうち錐体細胞は脳の70から85%を占める。神経細胞を三角で表すことがあるのは、この錐体細胞が三角形に見えるからである。

### 1.1.2 神経細胞の構造と機能

神経細胞は大きく

細胞体 (soma) 核 (nucleus) を細胞膜 (cell membrane) が包んだもの

樹状突起 (dendrite) 樹状突起は細胞体からつきだしているもの

軸索 (axon) 他の神経細胞の細胞体もしくは樹状突起へ繋がっているもの

によって構成される。軸索と他の神経細胞との結合部分をシナプス (synapse) という。

体液内と細胞内にはイオンが存在している。体内のイオンのうち神経細胞の働きに大きく影響を与えるのはナトリウムイオンとカリウムイオンである。通常、体液内にはナトリウムイオンが多く存在し、細胞内にはカリウムイオンが多く存在する。また細胞膜にはイオンチャネルが存在し、イオンチャネルが開いていると特定のイオンがイオンチャネルを通過することができる。細胞内と体液内には電位差があり、体液内に対する細胞内の電位を膜電位 (membrane potential) という。

神経細胞の細胞膜に存在するカリウムイオンチャネルは通常開いており、カリウムイオンが常に細胞内と体液内を行き来することができる。他に、電位依存性のナトリウムイオンチャネルや電位依存性のカリウムイオンチャネルが存在し、どちらも通常は閉じている。また細胞はDNAによってタンパク質を常に製造しており、タンパク質は負の電荷を帯びている。よって体液内のカリウムイオン(1荷の正イオン)が体液内と細胞内の電位差によって細胞内に入ってくる。しかし、一定数のカリウムイオンが細胞内に入ると濃度の差によりカリウムイオンは細胞内から体液内へと移動する。通常時はこのカリウムイオンの出入りが安定した状態になる。この状態の膜電位を静止電位 (resting potential) といい一般に  $-70\text{mV}$  ほどである。

膜電位がある一定の値(およそ  $-50\text{mV}$  から  $-40\text{mV}$ ) まで上がると、細胞膜上の電位依存性のナトリウムイオンチャネルが開く。すると電位差によりナトリウムイオン(1 荷の正イオン) が体液内から細胞内に入ってくる。これにより膜電位は大きく上昇し、膜電位が約  $40\text{mV}$  ほどになると電位依存性のナトリウムイオンチャネルは閉じる。それとほぼ同時に電位依存性のカリウムイオンチャネルが開く。このとき、膜電位が正であることと細胞内にカリウムイオンが多く存在することから、カリウムイオンは細胞内から体液内へと移動する。これにより膜電位は大きく下がる。膜電位が約  $-70\text{mV}$  程度(もうちょっと小さく?) になると電位依存性のカリウムイオンチャネルは閉じる。これ以降はカリウムイオンチャネルのみが開いている状態のため通常の状態に戻り膜電位は静止電位に戻る。膜電位が一定の値を越えてからのこの一連の流れが発生することを発火(fire) するもしくは興奮(excite) するという。また、神経細胞が発火する膜電位の値のことをしきい値(threshold) といい、発火したときの膜電位の値を活動電位(action potential) という。

発火している時間はだいたい同じであり、1 度しきい値を越えれば自動的に膜電位が増減するため同じような膜電位の増減のしかたをする。また、発火している最中に重ねて発火するようなことは起きないため発火すればどの神経細胞も同じような膜電位の増減のしかたをする。この膜電位の増減は細胞膜上をつたわる。この膜電位の上昇が軸索をとおりシナプスへ伝わることで、シナプスが別の神経細胞へ信号を伝える。シナプスが他の神経細胞へ信号を伝える際、シナプスは伝達物質を用いるが、これには興奮性の物質と抑制性の物質がある。どちらの物質を出すかはシナプスによって決まっている。神経細胞は他の神経細胞とのシナプスから伝達物質を受け取ると膜電位が上昇する。

神経細胞を信号処理器と捉えたと、軸索(もしくはシナプス) は出力、細胞膜や樹状突起は入力とみることができる。複数の他神経細胞から伝達物質を受取り膜電位がしきい値を越えたと、発火しそれを他の神経細胞へ伝えるという過程は非線形なふるまいであり、これが脳の高性能な処理能力の所以であるとされる。

## 1.2 神経細胞のモデル

## 1.3 シナプスの可塑性

## 1.4 ニューラルネットワークの分類

### 1.4.1 階層型ニューラルネットワーク

### 1.4.2 相互結合型ニューラルネットワーク

## 1.5 ニューラルネットワークの特徴

### 1.5.1 並列分散処理

### 1.5.2 学習と自己組織化