

第5部 機械学習

Machine Learning

この章では、**機械学習** マシ ン ラーニング machine learning と呼ばれることについて扱います。

機械学習とは、機械（コンピュータ）に学習能力のようなものを持たせ、教育・訓練のようなことをして、機械に自動的に判断や動作をさせようとするようなことです。

人工神経網 アーティフィシャル ニューラル ネットワーク artificial neural network は、コンピュータを使った機械学習を実現するために使われます。このことはヒトを含む哺乳類 マンマリアン mammalian の大脳 セリーブラム cerebrum の働き方の真似 ニューロン をして、**人工神経細胞** artificial neuron を接続した人工神経網 artificial neural network によって動作を最適化させようとする考え方に基づいています。

深層学習 ディープ ラーニング deep learning は、層状に構成した「**多層人工神経網** マルチレイヤー multilayer artificial neural network を用いた機械学習」と概ね同じ意味です。現時点で実用化されている**人工知能** インテリジェンス artificial intelligence と呼ばれるものの多くは、この考え方に基づきます。

深層学習は、画像の処理・解析や音声認識、自然言語処理、自動翻訳などに用いられています。学習・訓練のようなもののしかたとして、**教師あり学習** スーパーヴァイズド supervised learning と呼ばれる方法を使います。多層人工神経網を利用した人工知能の分野には**教師なし学習** アンスーパーヴァイズド unsupervised learning と呼ばれる分野もありますが、そのことが有効かは、あまりはつきりしません。

1.3. 神経網と神経細胞

Neural Network & Neuron

コンピュータ技術分野のニューラル・ネットワーク（人工神経網）は、ヒトの持つ**大脳** セリーブラム cerebrum の働き方を参考にして作られました。人工神経網は、現実に存在する生物の神経網に関する生物学的 バイオロジカル biological・解剖学的 アナトミカル anatomical な解釈に基づいている面もあり、そうでない面もあります。ここでは生物の神経網と神経細胞についての生物学的・解剖学的な解釈について確認しておきます。

ヒトを含む哺乳類の**脳** ブレイン brain は、解剖学的には**大脳** システム brain stem・**小脳** セレベラム cerebellum からなります。大脳は、表面層の**大脳皮質** セリーブラル コーテックス cerebral cortex、その奥にある神経繊維の集ま

りである**白質** ホワイト マター white matter, 脳の構造を右脳と左脳に分けた時の片側の脳のそれぞれの中心にある**大脳基底核** ベイスル ガングリア basal ganglia の3つの部分からなり, 左右の大脳基底核はその内側にある**間脳** ダイエンセファロン diencephalon を取り囲んでいるように見えます (Fig. 13.1)。

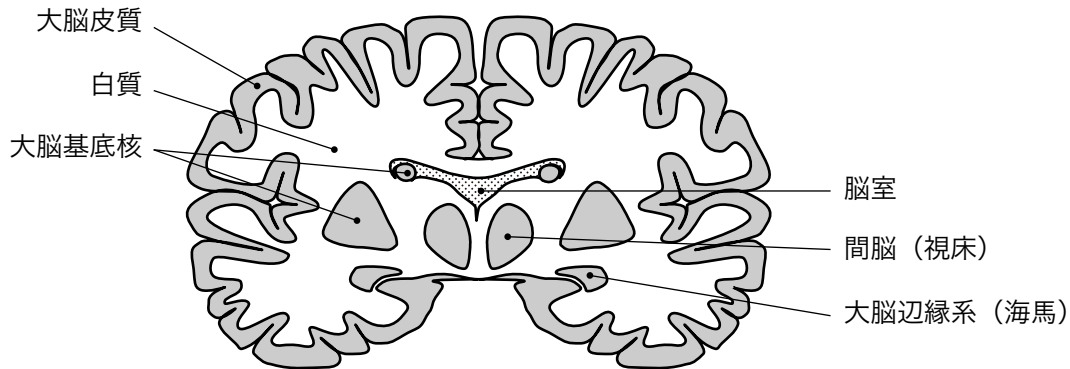


Fig. 13.1 ヒトの脳の前後断面の模式図

大脳皮質の特定の場所が損傷を受けたり, 特定の場所に刺激を与えた場合にどうなるか調べることで, **注意** アテンション attention・**知覚** パーセプション perception・**気づき** アウェアネス awareness・**思考** ソート thought・**記憶** メモリー memory・**言語** ラングウィジ language・**意識** コンシャスネス consciousness などのヒトの知性 インテリジェンス intelligence のようなことについて, 大脳皮質が重要な働きをしていることがわかりました。ただし, 記憶形成や**認知** コグニション cognition・**情動** (快感・恐怖など) については**大脳辺縁系** リンビク システム limbic system に分類される**海馬** ヒポキャンパス hippocampus や**扁桃体** アミグダラ amygdala などが重要な役割を持つことや, 嗅覚以外の**感覚** (視覚・聴覚・触覚・味覚) については間脳に分類される**視床** サラマス thalamus が重要な役割を持つことも知られています。

脳は**神経細胞** ナーヴ セル nerve cell の多く集まる特殊な器官です。神経細胞は**ニューロン** ニューロン neuron とも呼ばれ, 動物の体内で目や耳などの**感覚器** センサ sensor が受けた刺激を別の神経細胞に伝えたり, **筋肉** マッスル muscle などの**運動器** モーター motor (アクチュエータ actuator) を制御する信号を送る働きをします。神経細胞は, 他の種類の細胞と同じように**核** ニュークレアス nucleus と**細胞小器官** オーガネル organelle (ゴルジ体 ゴルジ アパラタス Golgi apparatus, ミトコンドリア マイトコンドリオン mitochondrion など) を持ちますが, Fig. 13.2 に示すように, 他の細胞と違う特徴のある形状を持っています。

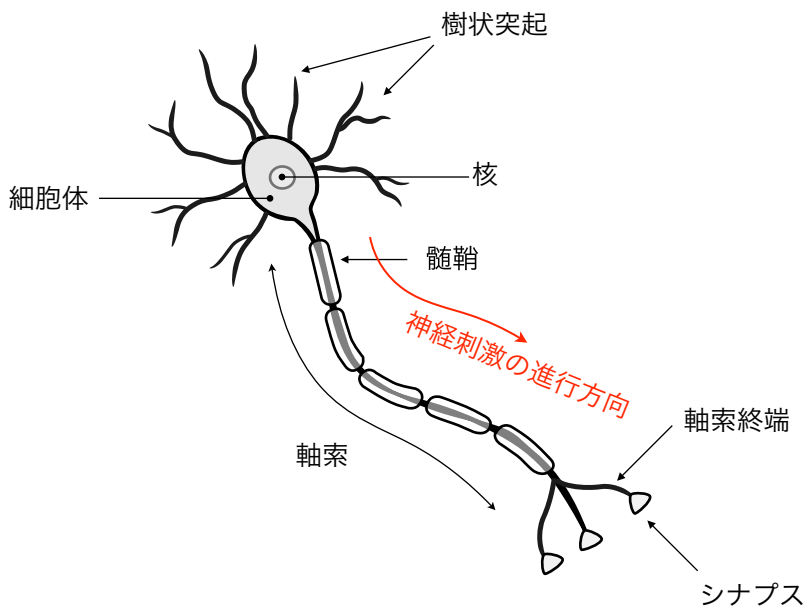


Fig. 13.2 神経細胞 (ニューロン)

ニューロンは、細胞体 soma から枝分かれした複数の樹状突起 dendrite と軸索 axon が伸びた形をしていて、樹上突起から刺激を入力し、軸索の末端から刺激を出力する働きをします。軸索はグリア細胞 glial cell の巻きつく髄鞘 myelin sheath で覆われる場合があります、大脳の「白質」の部分はこのために白く見えることとなります。軸索の末端が枝分かれする場合もあります。軸索の末端で他のニューロンの樹状突起と結合し、シナプス synapse が形成されます。

受けた刺激の強さが「一定の強さ」を超えた時に、ニューロンは一定の時間、一定の強さのパルス状の反応を示した後に、元の（刺激を受ける前の）状態に戻ります。反応が始まる刺激の強さを閾値 threshold と呼び、受けた刺激が閾値を超えてニューロンが作動し始めることを「発火する fire」あるいは「点火する ignited」「興奮する excited」「活性化する activated」と言います。興奮したニューロンは軸索末端から神経伝達物質 neurotransmitter を放出し、興奮する前の状態に戻ります。

神経伝達物質を受けた次のニューロンがどのような反応をするかは樹状突起の表面にある受容体 receptor の種類によって変わります。受容体には興奮性 excitatory の（発火頻度を上昇させる）反応と、抑制性 inhibitory の（発火頻度を下降させる）反応、変調性 modulatory の（発火頻度の変化には直接関係しないが長時間続く）反応をするものがあるとされます。

脳内で使われる神経伝達物質の 90% 以上を占める 2 つの物質がグルタミン酸 glutamate (IUPAC 名 glutamic acid) と γ -アミノ酪酸 gamma-aminobutyric acid; GABA (IUPAC 名 4-aminobutanoic acid) です (Fig. 13.3)。グルタミン酸は、イオンチャンネル受容体 ionotropic receptor に対して興奮性、代謝型受容体 metabotropic receptor に対しては変調性の効果があります。GABA も数種類の受容体に影響を与えますが、脳内では抑制性の効果し

か知られていません。このことからグルタミン酸を放出するニューロンを「興奮性のニューロン」、GABAを放出するニューロンを「抑制性のニューロン」と呼び、グルタミン酸を「興奮性の神経伝達物質」、GABAを「抑制性の神経伝達物質」と呼ぶことにしても辻褄の合う感じになる場合は多い一方で、脳以外の部位ではニューロンと神経伝達物質について、そのような対応の付け方が当てはまらない例も確認されているようです。



Fig. 13.3 L-グルタミン酸 (左) と γ -アミノ酪酸 (右)

ヒトの脳にはおよそ 10^{11} 個のニューロン、 5×10^{14} 個のシナプスがある (e.g. Bostrom, 1998; Moravec, 1998) と言われます。

脳の機能は、主にシナプスの形成による神経回路の成長によって実現されると考えられます。その一方で、普通の意味での記憶・学習は、有効なシナプス結合を強化し、不要なシナプス結合を弱化・遮断することによって進行すると解釈されます (e.g. Higashi et al, 2018)。ヒトの脳の機能は 25 歳くらいまで成熟を続けるとする説が現在は有力です (Arain et al., 2013)。

主に高齢者に発症する脳機能の劣化により、日常生活を送ることが困難になるようなレベルまで、記憶や言語、問題解決や思考の能力を喪失する症状が認知症 (dementia) と呼ばれます。日本で 2022 年度に行われた調査では 65 歳以上の高齢者の認知症の割合は約 12 %、認知症の前段階とみられる軽度認知障害 (mild cognitive impairment) の割合は約 16 % と推定されました (政府広報, 2025)。

認知症の 60–80 % はアルツハイマー型認知症 (Alzheimer's disease) と呼ばれ、脳全体に萎縮の見られる特徴があります。20 % 程度が血管性認知症 (vascular dementia) と呼ばれ、脳梗塞や脳出血などにより脳に十分な血液が送られなくなることにより発症するとされます。その他にレビー小体型認知症 (Lewy body dementia)、前頭側頭型認知症 (frontotemporal dementia) に分類される認知症もあります。

参考文献 13

Arain, M., Haque, M., Johal, L., Mathur, P., Nel, W., Rais, A., Sandhu, R. & Sharma, S. (2012). "Maturation of the adolescent brain", *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, **9**, 449–461. [DOI: <https://doi.org/10.2147/NDT.S39776>] (↩)

Bostrom, N. (1998). "How long before superintelligence?" [URL: <https://nickbostrom.com/superintelligence>] (↩)

Higashi, T., Tanaka, S., Iida, T. & Okabe S. (2018). “Synapse elimination triggered by BMP4 exocytosis and presynaptic BMP receptor activation,” *Cell Rep.* **22**, 919–929. [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2017.12.101>] ([↔](#))

Moravec, H. (1998). “When will computer hardware match the human brain?” [URL: <https://jetpress.org/volume1/moravec.htm>] ([↔](#))

政府広報「知っておきたい認知症の基本」(2025) [URL: <https://www.gov-online.go.jp/article/202501/entry-7013.html>] (2025年1月22日閲覧) ([↔](#))