

大脳連合野における認知機能のメカニズム

酒田 英夫 (日大医学部)

パターン認識がいかに実現されているか、という問題について考えてみたい。そのために不可欠な特徴抽出というプロセスが、細胞レベルで実現されている、という Hubel と Wiesel による simple cell の発見は、大きな衝撃を与えた。一方、最近の Neural net の研究は、back propagation による学習アルゴリズムや、その結果として hidden unit に組織されるコーディングなどのように Model からの suggestion を与えるものとして、期待をあつめている。ここでは、認知機能のメカニズムが、大脳連合野においてどのように実現されているかを、視覚系を対象に、見て行く。

大脳連合野を最初に見つけたのは P. Flechsig である。彼は、乳幼児の脳を調べて、発達の様子が場所により違うことを発見した。感覚器につながる領域がまず発達し、次にその周辺部が続き、いくつかの領域が最後になるのだ。最後に残された領域は、前頭葉、頭頂葉、側頭葉に3つの中心領域を持つ。そのうち、前頭前野は行動のプランニング、行動的意味の認知と作業記憶に、頭頂連合野は空間認知と空間記憶に、下側頭回は視覚パターンの認知と記憶に、それぞれ関与していると考えられている。

これから問題にしていく、脳の情報処理の原理として、2つ挙げることができる。1つは、並列処理である。具体的には、部分別処理、カテゴリー別処理、集団コードなどを意味している。もう1つは、階層的処理である。これは、部分から全体へ、あるいは、単純から複雑への情報の移行を意味し、例えば、カテゴリーの組合せ、イメージの形成などに見られる。これらの原理は、いかに実現されているのであろうか。

まず、サルの前頭葉が、どのような処理を行うかを以下に示す。

サルの外側皮質体は6層の細胞層からなり、I~II層が大型の細胞により、III~IV層が小型の細胞により、それぞれ構成される。それらへ入射する網膜神経節細胞も、大きさから、 α 、 β 、 γ の3種類に分類される。中型の β 細胞は、外側皮質体の小細胞層に、大型の α 細胞は、大細胞層に、それぞれ、選択的に投射している。

続いて、外側皮質体からの出力は、後頭葉の第17野の第4層に入射するが、小細胞層からは、4C β 層に、大細胞層からは、4C α 層へと投射する。さらに、17野の表層側には、ブロッブという柱状構造物がある。4C β 層からの出力と、割合は少ないが、4C α 層からの出力とがブロッブに入る。4C β 層からの残りの出力は、ブロッブ間領域にも投射する。そこには、simple cell, complex cell などが存在する。一方、4C α 層からの出力の大半は、4B層へ投射する。

これら、17野からの出力は、第18野を経て、さらに先の領野へと投射する。まず18野には、縞構造があり、薄い縞、細い縞、太い縞に分けられる。ブロッブ間領域からの出力は、薄い縞を経てV3野に、そしてもしかしたらV4野にも終止する。そ

ここでは、形に関する処理が行われる。ブロップからの出力は、細い縞を経てV4野に終止する。そこでは、色彩の知覚に関する処理が行われる。4B層からの出力は、18野の太い縞を経て、運動方向に関する処理を行っているMT野に、そしてさらには、MST野に入力する。そこでは、運動や両眼視差による奥行きの知覚に関する処理が行われる。ウサギでは、網膜でも既に運動方向に関する選択性があるが、サルでは、このように皮質においてはじめて方向選択性が生じるのである。

これらの中で、まず、色彩に関する処理に焦点を当ててみる。視覚前野において、ダブル・オポネント細胞という、興味深いものが発見されている。この細胞は、例えば、中心が赤色で周囲が緑色の刺激に対しON反応を示し、逆の配色の刺激に対してはOFF反応を示す。一方、第4層にみられるのは、シンプル・オポネントの細胞で、1つの色に対し、中心部がON反応、周辺部がOFF反応（または、その逆）を示すという、より単純なものである。

我々の色の知覚を調べると、他の色とのコントラストが検出され、色知覚がなされていることが分かる。赤色の単色光の下では、「赤」という色は、知覚されない。Landは、色モンドリアンを使った実験で、入射光のスペクトルの変化によらない、知覚される色の恒常性を示した。一方、Zekiは、同様の実験から、入射光のスペクトル変化によらず、特定の色に反応する、V4の細胞を発見した。このような知覚の実現に、ダブルオポネント細胞の存在は、本質的である。特定の色のコントラストはシンプル・オポネント細胞で識別できるが、入射スペクトルの変化によらない、反射率のコントラストを区別するには、ダブル・オポネント細胞が必要である。

次に、運動に関する知覚に焦点を当てる。4B層の細胞は、（運動）方向選択性を持っている。そこからの出力は、MT野そして、MST野に入射する。MT野を一部破壊すると、空間の一部に、運動を知覚できない領域を生む。MST野の細胞は、受容野が、MT野におけるものよりも広がっており、方向選択性を受け継いでいる。

MST野では、高次の運動に選択的に反応する細胞が、いくつか発見されている。1つは、物体の接近に反応する細胞である。この細胞は、一様に拡大する図形には強くON反応を、縮小するものには強くOFF反応を示す。この反応は図形の形によらないが、間隔の変化する平行線などには、あまり反応を示さない。また、MST野を一部含む、それより表層に近い部分からは、回転に選択的に反応する細胞が見つかった。この細胞の受容野は、大変広く、 $20^{\circ} \sim 100^{\circ}$ もある。

また、人間に遠近法に基づいた奥行きを表す平面図形を回転させると、前後の解釈が狂って、回転ではなく振動に見えてしまう、という錯覚が知られているが、サルで、それに対応する細胞を、我々は発見した。これらMST野、ならびにそれに近接する領域で、運動に伴う知覚に関する情報の階層的処理が行われていると考えられている。私としては、脳は、全体的な処理を優先させるよりは、まず部分の処理からはじまり、順次それらの部分情報が階層的に統合され、全体知覚がなされるのだと考えている。