

脳のデザイン

京都大学理学研究科 篠本 滋

はじめに

現代の神経科学は進歩が著しいといわれるが、脳の構造や機能についてどの程度のことがわかってきたのだろうか。本サブゼミでは最新の実験的知見を紹介しながら、脳の情報処理機構、とりわけ記憶の保持機構について議論したい。

計算論的神経科学の方面では、1980年代中頃から1990年代初頭にかけてニューラルネットワーク研究が流行した。様々な分野の研究者が参入した結果、ニューラルネットは工学的応用において一定の成果をおさめ、同時にその数理的基礎も現代的に体系化された。これら応用研究や数理研究のほかに、現実の脳の機能をニューラルネットワークモデリングの立場から論じようとする試みも多数現れた。神経細胞の機能を参考にして考えだされたニューラルネットワークモデルを現実の脳神経系に投影してみようとするのはごく自然な発想ではあるが、直ちに大きな成果があがったというわけではない。故デイビッド・マー博士が発表した「小脳の理論」や「視覚情報処理の理論」は神経科学に多大な影響を与えてきたが、それはこの天才の編み出した構想の壮大さによるのであって、理論の精密さによるのではない。数理モデルの分析を通して得られる緻密な特性の多くは、現在の生理学の実験データとはあまりにかけ離れていて、むしろ現実性に乏しいのである。そもそもモデリングというものは、何かを証明するという類のものではないが、ではモデリングにはどんな意義があるのか、またモデリング以外に理論家はどんなことができるのか。そのようなことについても考えてみたい。

記憶と機械的物質過程

図書館から「いなばのしろうさぎ」の紙芝居を借りてきて上演したとき、子どもたちは「オオクニヌシノミコト」という言葉に目を白黒させた。繰り返してみるようにいうと、4歳半の子どもはそれをかろうじて繰り返すことができた

が、2歳半の末っ子は「おおくにみこと」となってしまう。初めて聞いた言葉を再生するまでの十数秒間、その情報は彼らのアタマのなかでどのように保持されているのだろうか。アタマのなかにメモ用紙のようなものがあってこの情報が書き込まれたのだろうか。記憶が神経細胞集団のしわざであるというならば、メモ用紙に対応するものは何で、ペンやインクに対応するものは何で、そこにどんな記号が書き込まれているのだろうか。

その翌日、末っ子に「オオクニヌシノミコト。言っごらん」というと「おおくにのみこと」というように変化を示していた。毎晩のようにこれを繰り返していると、再生語は徐々に長くなり、1週間ほど経つと完全なものになった。この子のアタマの中で何らかの長期的な変化が起こったにちがいない。アタマのどこかに辞書のようなものがあって、その辞書にこの言葉が書き加えられたのだろうか。その辞書には、オオクニヌシノミコトが神さまであること、その神さまがウサギを助けてやったこと、などの意味も付け加えられたにちがいない。このような記憶もまた神経細胞集団の仕業であるというならば、辞書に対応するのは何で、そこにはどのように情報が書き込まれているのだろうか。

上のような2種類の記憶現象は、おそらくは階層の異なる現象であるが、ともにアタマの中でおこっている機械的物質過程であると思われる。記憶を担う機械的物質過程とはいったいどのようなものか。現代神経科学はこの疑問に対して完全な回答を与えたわけではないが、大まかにはその解答が得られようとしている。

記憶課題と脳活動

本サブゼミでは記憶に関する2つの神経生理学実験をとりあげて、それらについて議論したい。取り上げる実験は、船橋新太郎氏（京大総人）らの遅延作業課題と宮下保司氏（東大医）らの遅延見本あわせ課題である。

赤ん坊の目の前に二つの小皿をおき、その片方にはクッキーを入れて伏せ、もう片方は空のままにして伏せる。その後しばらくのあいだ別の光景を見せてから、小皿を取らせる。赤ん坊はどちらの皿を選ぶだろうか。遅延反応課題と呼

ばれるこの短期記憶課題を赤ん坊にやらせてみようと思いついたときには、未っ子は1歳4カ月になっており、その年ではこの課題は難しくはなかった。ともあれ、この種の記憶はヒトの特権ではない。サルも持っている。

ところが前頭連合野を破壊されたサルは、この種の短期記憶課題に障害を示すことが知られている。ではこの前頭連合野の神経活動を観測すれば、手がかり情報に応じた何らかの変化が見られないだろうか。久保田、二木、フスター、ゴールドマン・ラキーチ、船橋、などの研究者は、上に述べたような空間情報に関する遅延反応課題をサルに訓練し、課題遂行中の前頭連合野の神経細胞の活動を記録する事に成功している。彼らは、記憶課題のなかで最初に示される手がかり情報（例えば最初に提示されるえさの位置）に応じて異なる活動度を示す神経細胞があることを見いだしている。さらに興味深いことには、そのような細胞のなかには、手がかり情報が消えてから反応をするまでの数秒間、通常とは異なる活動度を示すものがある。

視覚情報処理の脳内経路は、物の位置や運動を処理する「空間視」経路と、物の色や形を処理する「物体視」経路とに大別される。大脳の側頭葉に損傷を受けた人やサルにはものの形の記憶課題に障害が現れることがある。宮下らは人工的な図形を用いて、もののかたちを記憶する課題を作り、課題実行中のサル側頭葉の神経細胞の活動を記録することに成功している。ある記憶課題では、一つの図形を一瞬の間提示し、その後数秒から十数秒の遅延期間をおいてもう一枚の図形が提示される。サルは遅延期間の前に提示された図形と遅延時間の後に提示された図形が同じものであるかどうかを示すことが求められる。この課題においても、遅延期間中に通常とは異なる活動度を示す細胞が（この場合は側頭葉に）見いだされている。

位置の記憶課題にせよ、形の記憶課題にせよ、毎回変わる手がかり情報を数秒から十数秒間の遅延期間のあいだ保持することが必要である。これは私たちが電話をかける際に電話番号を一時的に記憶するような短期記憶に相当するものと考えられている。遅延期間のあいだ、手がかり刺激に応じて、通常とは異なる活動度を示す細胞が上述の生理学実験において見いだされていることから、記憶情報は神経細胞集団の活動状態によって表現され、神経細胞集団のダイナ

ミックスによってその情報が保持されるものと考えられる。

ひとつの神経細胞によって手がかり情報が保持されるとは考えにくい。個々の神経細胞のダイナミックスの時間スケールが、短期記憶課題における遅延時間、数秒から十数秒に手が届いていないからである。しかし多数の神経細胞が信号をリレーしていけば細胞集団全体の固有時間スケールを引き延ばすことができるのではないか。その素朴なイメージが、ロレンテ・デ・ノーやドナルド・ヘップによって半世紀以上前に提唱された「興奮波」の伝播である。現代の知識からみると、当初考えられたような単純な興奮波の存在は考えにくい。しかし数万個、数十万個の細胞が協力的に働くことによって、各自が通常とは異なる活動状態を持続するという可能性はある。理論モデリングの立場からこの可能性について議論したい。

参考文献：

- (1) 篠本 滋「脳のデザイン」(岩波書店、1996)
- (2) 篠本 滋・奥野浩行「記憶の情報表現」科学 67 (1997) 689-698