

神経回路網モデル

京都大学理学部 篠本 滋

脳の機能を神経回路網のレベルでモデル化し、理論的に論じる研究を紹介した。現実の脳の構造の解明と、その構造の上に発現する機能の関係は解剖学、生理学などの分野の研究者によって次第に明らかにされつつあるが、高等動物の脳の構造は複雑で今のところ十分な知識が得られているとはいえない。一方、脳の情報処理の基本要素である神経細胞、即ちニューロンの反応形態については比較的よく理解されている。また一方、脳全体の行っている処理内容などは心理学的側面も含めて一部は明らかになっている。この状況で考えられる一つの方法論は、基本要素を簡潔にモデル化して、その組み合わせによって脳の情報処理を模してみることである。現在、神経回路網モデルと呼ばれるものの大部分はこの方法論に基づいている。脳の情報処理には大きくわけて2つのすぐれた能力がある。ひとつはパターン認識、運動制御等における能力の高さとその処理の速さにある。構成要素のニューロンが反応に要する時間スケールが高々 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ 秒であることを考えると脳全体の処理は迅速であり、現在のフォン・ノイマン型コンピュータのアーキテクチャーではとうてい実現できない。故に並列処理機構が必要であると考えられるが、並列処理の基本原理のようなものは今のところ十分明らかにされていない。もう一つの能力は学習という側面である。脳は生得的に与えられた情報処理能力を持つというよりは、むしろ環境の変化に適応して自発的な学習を行い、情報処理能力を獲得するといえよう。特に高等動物では運動性の記憶のみならず人の顔や事項等、認知性の記憶も生後に獲得する。これも従来のコンピュータにはない魅力的な点である。

これらを考慮するには、第1に、与えられた結合の下に系がどのように振舞うかを研究すること、第2に、与えられた課題を実行する為に系はどのような構造を持つ必要があるかを研究すること、の2種の研究が必要である。これら2つの問題は逆の関係にあるが、各々を一般論としてとり扱うべく組みは存在しない。その為に各々特定の例に限って詳しく研究されている。第1の取組みの例として連想記憶モデル、とりわけホップフィールド・モデルがあり、第2の取組みの例としてはパーセプトロン、誤り逆伝搬法、ボルツマン・マシン学習等がある。

モデル作成の際に前提とするニューロンの反応形態は以下のように要約することができる。各ニューロンは $10^2 \sim 10^4$ 個におよぶ入力ターミナルを持っており、他のニューロン等からの信号を受ける。ニューロンの反応としては入力シグナルの総和に応じたパルスが発生させるので短期的には2値的な反応とみなせる。その情報をパルス頻度のような量とみなすとすると高々1実数に相当する出力をもつとも言えるが、反応は一般に確率的であり、あまり正確とはいえない。出力情報は出力ターミナルであるシナプス結合を経てやはり $10^2 \sim 10^4$ 個の他のニューロンに伝搬される。処理内容を規定するシナプス結合の強度は学習によって変化し得るものがあるということが知られ

ている。

このニューロンをフォン・ノイマン型の論理ゲートと比較するとニューロンの反応は不確実ではあるが伝達のターミナルの数が非常に多い点が特徴的である。これらのあいまいな素子を使って信頼性の高い作業を行うことが神経回路に課せられた目的である。そのためには個々のニューロンの反応に絶対的な決定権を与えないような回路の設計が必要であり、そうするには系の協力的モードの中に情報を表現すればよい。この表現は、ニューロン集団にわたって情報が分散しているという意味で分散表現とも呼ばれる。

本報告で紹介したモデルの多くはこの分散表現を前提にしている。ホップフィールド・モデルやボルツマン・マシンではそのために協力的モードとしてスピン系のエネルギー局所安定点を利用している。一般にこのような非線形系に多くの局所的安定点があることを逆に利用し、その安定点を情報の内容に対応させるということがなされる。個々の要素であるニューロンはの場合、スピンの対応するが安定性を利用した結果、個々のニューロンの作用の「責任」は系の要素数が増えるに従って相対的に減少する。このことによってニューロンの反応のあいまいさを克服したと考えられている。学習に於いてはスピン間の交換相互作用に相当するシナプス伝達強度の可塑性を想定し、外界に示される統計構造を模す為のルールが考えられている。

このように神経回路網の研究では時おり物理学が対象にしてきた体系との対応がつけられるので興味深い。物理学者のこの分野への参入は物事を単純化するという方向に寄与していると思われる。しかしながらモデルの解析のみに終始している研究者も多い。一部には解析の対象の拡大としてしか考えていない人も多くそれらの論文はいささか自己満足的なものに映るし、神経系のアーキテクチャーに関する追求とは無関係としか思えないものが多いのも事実である。次には物理学で得られた概念を神経系に適用してみようという試みもあるが今のところあまり有効な成果は得られてはいない。やはり神経系を考える限り、あくまでもその情報処理が重要なのであり、その立場でものを考えない限り実りがあるとは言えない。物理学の単なる応用と考えるよりももう少し思い切ったふみ込みが必要だと思われる。目標さえ健全であれば手段にはこだわる必要はない。そういう意味では従来の理論物理で得られた方法論は豊かであり有効に利用されるものも多いと思う。