

〔研究室便り〕

脳とニューラルネットワーク —計算論的アプローチについて—

田崎 栄一郎

桐蔭横浜大学工学部 制御システム工学科

私どもの研究室において、その研究テーマの一つとして脳の機能に関する研究をとり上げている。ここではこれを非常にすぐれた情報処理装置であるという立場から計算論的科学的側面から説明を試みる。

脳の解明に向けて、これまで多くの努力が払われてきた。脳を考えるにあたって、ニューロンを構成する各部分の分子機構とその働きから神経回路網の基本構造、その情報処理様式、認知、記憶、思考、制御の仕組み、さらには意識などの精神機能にいたるまで、きわめて広範囲な分野が研究の対象になる。社会組織やコンピュータなども脳に関連している。このように、これからの脳の科学は医学、生物学はもとより、情報科学・工学、認知科学、言語学、哲学などの交流の上に構築される総合科学であると考えられる。そしてこの中であって脳の理論の果たす役割はますます重要なものになってくると思われる。

脳の情報処理には二つの様式が考えられ、人間の思考方式に深く関係している。これには論理的思考と直観的思考とがあり、その二つの共同作業によりすばらしい能力が展開してくると考えられる。論理的思考とは意識のもとに情報を命題として表現し、論理の力を用いてワンステップごとに推論をくり返して思考を深めていくやり方である。ここでは外界の多種多様な情報はそのあるがままの姿で取り扱われるのではなく、カテゴリとして概念化される。各カテゴリは名前がつけられ、すなわち情報は言葉という抽象的なシンボルで表現される。シンボル化された情報は、それらの間の関係や論理的結合を通じて命題となる。これを基礎に論理的推論が行なわれる。このことは意識下において逐次直立的に一つずつ進んでいく。一方人工知能や認知科学もシンボル操作によって、それぞれ、コンピュータ上に人間の知的機能を実現しようとし、また人間の心の働きを解明しようとした。これらはいずれも人間の論理的思考、すなわちシンボル（記号）操作能力に範をとり、高次レベルで思考をモデル化したり工学的実現をはかったものである。

しかし簡単な場合を除いて人工知能はうまく機能していない。この反省より脳に密着した connectionism が台頭してきた。これは情報をシンボルとして集約的に表現するのではなく、多数の素子の上に分散表現し素子間の結合による相互作用によって展開していこうとするものであり、ニューラルネットワークのモデルと密接に関係してくる。

ところで人間はいつも本当に論理的にものを考えているのであろうか？ 実は論理以前に直観的思考が働き、情報を統合し、問題の仕組みを見通し、解の探索に方向性を与えているのではなからうか？ 解決しなければならない問題を与えられたとき、われわれはまず問題全体の構造を把握し可能な解の方向を見通す。その後この解を論理的思考によって吟味し細部を仕上げていくと考えられる。

一方直観的思考法の仕組みはこれから解明すべき脳の本質的メカニズムである。そこでは情報はシンボルとして集約的に表現されるのではなく、多数のニューロン上の興奮のパターンとして分散的に表現される。記憶はこの興奮を生み出すメカニズムとして多数のシナプス上に分散配置される。思考や認識

のプロセスは多数のニューロンの並列的相互作用のダイナミックスとして展開される。すなわち、本質的に分散化し並列化した計算が行なわれる。この過程は無意識下で進行し、その結論部分が意識上にのぼってくる。計算の並列分散化は学習を容易にする。脳は外界の情報構造に合わせて自己組織化してゆく能力に富んでいる。さらに外界と自己の行動から学習して自己の計算方式を改善していく能力もあって、このような計算に都合のよい連想分散的記憶方式を備えている。

ここでこれまでに脳の理論について発表された基本モデルについて一言ふれておく。その代表的なものとして1) 多層パーセプトロン、2) 連想記憶モデル、3) ニューロダイナミックス、4) ニューロンの学習則〜一般化ヘップ学習とコバリانس学習〜、5) 神経場の自己組織化などが考えられるが紙面の都合上その詳細は割愛する。

次に脳研究の理論的方法の今後の方向性について簡単にふれておく。先に人間の思考法は二つのタイプに分けられることを述べたが論理的思考法についてはアルゴリズムの理論として体系化が進み、それを技術的に実現するコンピュータが高度に発達している。したがってここで解明したいのは直観的思考を可能にする情報原理であり、このことがいかにニューラルネットワーク上で実現できるかを調べることである。この基礎に立って論理的思考がニューラルネットワーク上で実現でき、二つの思考法が相互作用する仕組みが解明される必要がある。

それでは脳の情報原理、すなわち並列分散学習型のネットワークがどのように高次機能を実現しているか解明するにはどのような方法が有効であろうか。一つの方法はもちろん脳を実験的により詳細に調べていくものであるが、しかし複雑きわまりない脳において高次レベルまで機能がどう構成されているかを調べることは近年の実験手段の飛躍的発展を考えてもなお至難なことである。逆に脳の可能性を理論の立場から予見し、この立場から実験を主導し、理論の予見する構造と機能を現実の脳で実証していく立場がある。これが計算論的神経科学といわれるものであって、脳において情報がどのように表現され、どういう計算方式によって何が計算されていくのか、さらにそれらはニューラルネットワークでどのように実現できるのかを理論の立場から調べていくものである。理論の立場をさらに進めると、並列分散学習型の情報原理を直接研究する方向がある。すなわちニューロンのような素子の集団上に情報を分散表現し、素子間の相互作用のダイナミックスの中に情報処理過程を埋込み、ここに学習や自己組織化機能を実現させことの原理的可能性とその限界を理論的立場から明らかにしようとするものである。そこで、ひとまず現実の脳から離れ、比較的単純な回路構造を原理解明のためのモデルとして選び、その能力と限界を数理的に明らかにしていく方法をとる。現実の脳はこのような原理的可能性を、生物の永年の進化の過程で見出し実現したものである。計算論的アプローチはこの可能性を理論の力で明らかにし、脳を見直そうとするものである。このとき脳の計算様式にヒントを得た工学的情報処理の方式も技術の力で実現でき、これをニューロコンピューティングという。したがって計算論的神経科学とニューロコンピューティングは同一の原理をめぐって表裏一体の関係にあるが前者は脳の解明に主眼をおいているが後者は工学的応用に重点がある。

以上脳の研究における計算論的神経科学の立場からそれについての解説を試みたが、脳の科学にとって、研究が高次機能の領域に近づくほど、その理論的研究は必要不可欠のものとなり、今後ますます重要性は増大してくると考えられる。