

解説



||||| 様々な角度から見たニューラルネットワークの将来像 |||||

3. 「脳に学ぶ」から「脳を学ぶ」へ†

田 中 繁 竹

1. はじめに

「脳に学ぶ」という思想の下にルンメルハートやホップフィールドらの研究を契機に始まった第2期 Neural Network (NN) ブームは、安定（情性？）期に入った感があるが、NN 研究が今後一層の発展を遂げるために「脳に学ぶ」とはどういうことだったのかをもう一度考えてみたい。そして、「脳に学ぶ」から「脳を学ぶ」というスローガンへの転換を図ることによって、NN 研究を理論脳科学として展開していくことを提案する。

2. 理論脳科学としての Neural Network 研究

パーセプトロンやホップフィールド型ネットワークに対して Neural Network と名付けた背景には、当該の工学モデルは「脳に学ぶ」ことによって得られたというコンセンサスがあった。確かに、NN の研究者が“Neuron”と呼ぶ素子は、他の多くの素子と結合し、並列分散型の情報処理を行うという意味で脳の神経細胞に類似する。しかし、それだけのことならば 20 世紀初頭にゴルジやカハールの観察によってすでに明らかにされていたことであり、今さら脳に学んでつくったというのも時代錯誤ではなからうか。また、われわれの精神作用と NN の性質との間にはかなり大きな隔りがあるという直観と比べても、脳から学ぶべきものはまだまだたくさんあるはずである。しかしながら、われわれは脳に何を学ぶべきかを十分に理解しているとは言いがたい。脳に学ぶためには、まず脳で起こっている現象を理解することが必要である。自然科学の発展を振り返

れば、科学的発見や理解は必ず新技術の開発の基盤を与えてきたが、脳科学も同様であろう。そこで筆者は、NN 研究を工学の枠を超え実際の神経回路網 (Neural Network とは本来生物がもつ神経回路網を表す用語であった!) の研究をも含むことによって理論脳科学と捉えることを提案したい。

従来の脳研究ではもっぱら、生理学、解剖学、分子生物学などの実験的研究が主導的役割を担ってきた。そのような状況の中で、物理学においてみられるように理論と実験がクルマの両輪としてのパートナーシップを確立するためには、理論家といえどもかなり実験の研究に関心をもつ必要がある。実際、そのような研究態度が徐々に浸透してきているように感じる。それでは今後、理論脳科学としての NN 研究をどのような方法論に基づいて進めたらよいのであろうか。また、どのような問題設定が可能であろうか。

3. 一般的方法論について

脳を理解しようとするとき、全体論的に捉えるか還元論的に捉えるかという軸と、目的論的に捉えるか因果論的に捉えるかという軸がある。脳はニューロンによる強結合系であることを考えれば、最終的には全体論的に理解されなければならない。確かに視覚領のニューロンを一個取り出してきても視覚機能については何も分からないが、一方ニューロンの基本的性質について何も知らなければ視覚領の機能を理解するのはむずかしい。したがって、理論研究の一つの役割は、還元論から全体論への橋渡しをすることと言えよう。自己組織化の研究では、還元論的に得られたシナプス可塑性から出発して視覚領におけるコラムというシステムを形成するメカニズムを説明するという点で両者をつなぐ役割を果たしている。

† From “Learning from the Brain” to “Understanding the Brain” by Shigeru TANAKA (Fundamental Research Laboratories, NEC Corporation).

†† NEC 基礎研究所探索研究部; 理化学研究所国際フロンティア研究システム思考ネットワーク研究チーム

因果論的アプローチは、従来の自然科学において主役を演じてきた方法論で、現象を客観的に論理の連鎖で説明するものである。しかしながら、これだけでは精神作用を理解した気分にはなれないのが普通である。そこで、ある脳組織はどのような機能を果たすのかという説明が要求される。つまり、目的論的説明の必要性が生じる。また、脳をシステムとして捉えるならば必然的に目的関数が何かという議論が現れる。現在計算論的神経科学と呼ばれる分野は、このような目的論的アプローチの範疇に属すると言えよう。結局、理論研究の役割は、還元論的に得られたミクロな生物学的事実を基にして因果論的にシステムを再構築し、システムとしての脳機能（計算論）を説明することではなかろうか。

4. 可能な問題設定について

精神過程としては、様々な分類の仕方が可能であろうが、とりあえず、(1)知覚・認識、(2)記憶・学習、(3)情動、(4)運動・言語・思考の4種類に分けたい。紙数の都合上、特に入力と出力に関わる(1)と(4)についてそれぞれ可能な問題設定を論じてみよう。

知覚・認識

大脳皮質一次視覚領では画像の局所的特徴抽出が行われていることを発見したヒューベルとウィーゼルの電気生理学的研究以来、視覚情報の流れとして特徴抽出から統合へという図式が定着している。しかし最近、ギルバートらによって視覚領内を走る水平結合がコンテキストに依存した特徴抽出への関与を示唆する生理解剖学的研究成果を報告している。また、水平結合による相互作用は、最近注目されているニューロン活動におけるコヒーレントな振動的神経活動の物理的基盤であることが予想されると同時に、図と地の分離や群化にみられるゲシュタルト要因の形成にも関係することが期待され、今後の理論研究のターゲットとなるであろう。水平結合の効果は、ヒューベルとウィーゼルによるニューロンの応答特性に関する描像に変更を迫るものであり、一体問題として扱われてきた応答特性を多体問題として定式化する必要があることを意味する。視覚領の発達の研究においても、従来求心性線維のシナプス結合に

よる自己組織化のみが論じられてきたが、今後は側方結合の自己組織化も考慮して理論を再構築する必要がある。ここで特に視覚について言及したが事情は聴覚であろうと皮膚感覚であろうとほぼ同様である。要するに一次感覚野といえども研究すべき未解決の問題が山積しているということである。

運動・言語・思考

NN 研究が注目された大きな理由として、処理速度に上限がみえてきた直列の情報処理に基づく現在のコンピュータに替わり、多数のニューロンによる並列処理によって処理能力の向上を図る並列分散型コンピュータを開発するという目的があった。しかし、NN では、われわれの言語や思考にみられるような直列処理を扱うのが逆に困難になる。特に様々な時間順序パターンを学習させるのは意外に難しい。そこで、NN において並列処理から直列処理への変換がいかにして行われるかという問題が生じる。このことは、感覚系でなされている比較的静的な情報表現から動的な情報処理への移行のメカニズムとみることも可能である。時間順序パターンの代表例として二足歩行をはじめとする随意運動の生成があげられるが、これは大脳基底核と呼ばれ皮質下の古い神経核群によってバランスを保って遂行されている。ヒト固有の言語機能もまた、大脳皮質の言語野だけではなく大脳基底核の関与を示すデータが得られている。大脳基底核を通る神経回路は、精緻な運動制御を遂行する小脳を通過する神経回路から完全に分離していることから、オブジェクト指向的に命令を発する CPU とみなせるかもしれない。このような観点から、論理的思考もやはり大脳基底核が関与する類似のメカニズムによって行われている可能性がある。ヒトにおいて大脳新皮質が著しく肥大したことからいわゆる高次脳機能は大脳新皮質の活動に由来するという考え方は、大きな修正が迫られる可能性がある。高次脳機能に関わる大脳基底核の計算論的モデルを構築するための一つの試みとして、筆者らは winner-take-all による選択機構を用いてアクティビティを任意の順序で生成するモデルの研究を行っている。遥かかなたに見えていた高次脳機能の計算論的理解は、案外手を延ばせば届くところにあるのかもしれない。

5. 展 望

アメリカの未来学者は、21世紀にはほとんどの科学者はなんらかの形で脳研究に関わるであろうと予言している。実際アメリカの学会に参加すると、物理学などの既存の学問領域から多くの若手研究者が NN 研究や神経科学に流れ込んでいるのを感じる。日本でも今年2月には、脳の研究を国家プロジェクトとして推進しようという「脳の世紀」推進委員会が発足した。そういった内外の動向は、近い将来理論脳科学としての第3期 NN ブームの到来を予感させる。

(平成6年2月7日受付)



田中 繁

1957年生。1986年東京大学大学院理学系研究科物理学専門課程博士課程修了。理学博士。同年 NEC 基礎研究所入所。1990年より理化学研究所国際フロンティア研究システム研究員兼務。理論神経科学、特に、神経系の自己組織化に関する理論、および高次脳機能の計算論的モデル化の研究に従事。著書「Neural Networks for Perception (共著)」(Academic Press), 「ニューラルネットの新展開 (共著)」(サイエンス社), 「脳と心 (共著)」(日経サイエンス)等。Society for Neuroscience, 日本神経科学会, 日本神経回路学会, 日本物理学会各会員。

