

シンポジウム

「生体機構とコンピューター —細胞・脳から臨床応用まで—」

1. 細胞とコンピューターの比較

弘前大学医学部解剖学第二講座

○加 地 隆 (オーガナイザー)

1. はじめに：近年、生体工学やコンピューター科学が著しい発展を遂げ、一方、本学でも理工学部がスタート、脳研も改組の時期を迎えたこの時期に、弘前医学会で「生体機構とコンピューター—細胞・脳から臨床応用迄」の問題について取り上げることはタイムリーであろう。解剖学者で神経生理学者であったロンドン大学のJ. Z. ヤングは1950年頃にすでに脳とコンピューターの比較を論じている。このような生体機構とコンピューターとの類推は、ハーヴェイ、デカルト、ウィナー等が行った生体機構と機械との類推という考え方に属するものである。ここでは私共が長年研究してきた神経—内分泌（または化学）転換の器官であり、体液性の調節も受ける松果体や副腎髄質の腺細胞とも関連して細胞とコンピューターの類似性と思われる点を中心に述べる。

2. 細胞のコンピューターの性質：ヤング等の時代には、脳は2進数の0と1に対応する静止状態と興奮状態にある神経細胞の集団における、細胞間の複雑な連結によってコンピューターとの比較がなされた。しかしながら近年、細胞生物学や分子生物学等の研究が進み、細胞は電子顕微鏡レベルで観察され得る微細構造を含む多数の区画に分けられ、無数の分子が生化学的経路よりなるネットワークを構成していると考えられるようになってきた。これと共に、細胞内の微細構造はダイナミックに変動し得ること、また細胞内にはアロステリックタンパクに典型的に見られるように、スイッチ ON-OFF 状態のような活性化・不活性化状態に変換され得る酵素分子やDNA 巨大分子上に部分的スイッチ ON-OFF 状態を起こす分子の存在することが判ってきた。すなわち1個の細胞全体への入力や出力ばかりでなく、その細胞内部にも莫大な数の切り替え可能なスイッチや増幅と縮小・消去の過程が存在すると考えられ、それぞれの過程に入力・出力が想定されている。一方、コンピューターのメモリー機能と関連するものとして、脳組織ではシナプスの可塑性が注目されているが、個々の細胞でも種々の時間単位でメモリー機能が働いていると考えられている。細胞内記憶の機序として、化学的にはDNAのメチル化やCa⁺⁺-カルモジュリン依存性タンパクキナーゼを含むCa⁺⁺ 関連機構等が想定されている。細胞はコンピューターと同様に種々の計算をすることができ、また、細胞内の種々の生化学的経路を用いて論理式を組み立てることも可能である。コンピューターの電子回路ではパルス信号が多く利用され、一方、生体機構は情報の担体としてパルス様活動を発生させることが知られてきた。総興奮性シナプス後電位は軸索による活動電位の発生頻度という形にコード化され、種々の細胞で観察されるCa⁺⁺ 濃度の周期的変動も刺激に対し頻度依存型に応答し得る。また、種々のホルモンは律動的に放出され、私共の研究してきた松果体ホルモンのメラトニンもパルス様に放出されるという。このような信号は frequency modulation (FM) coding によってノイズに対する信号の比率の高い利点を有し、また持続的な信号による感受性の低下を回避することもできる。更に最近、細胞はこのようなパルス様信号を利用して細胞内のCa⁺⁺ 濃度を段階状に高めていくことができると云われている。一方、メラトニンは血中Ca⁺⁺ レベルを低下させ、カルモジュリン作用を抑制する。モデル化によってコンピューター上に構築されたニューラルネットワークは、多くの点で細胞内シグナル伝達タンパクのネットワークと共通する特徴を持つが、多くの入力信号の組合せが、細胞内ネットワークを介して細胞からの出力を生み出すという考え方は、メラトニンの副腎髄質細胞への作用機序を考える際のCa⁺⁺ 機構への作用とも関連して興味深い示唆を与える。

3. 細胞の研究とコンピューター開発：私共は副腎髄質細胞内の各種微細構造の量および各種生化学的活性が、松果体除去と対照手術によって互いに増加と減少という反対方向への著しい変化を示すことを明らかにしてきた。このように1個の髄質細胞は構造的・機能的に大きな可変性を有し、個体がおかれた状況に最も適した構造的・機能的特性を持つように共通の材料を用いながら変換し、互いに異なるタイプの情報処理を行うと考えられた(細胞内コンパクト協調仮説)。一方、コンピューターにもこのような可変性の特徴をもつものが考案されている(フィールドプログラマブル・ゲートアレイ)。細胞の微細構造や生化学的機構とその動態の詳細な研究は、このようにコンピューターの開発・改良にもつながる可能性があるため、細胞とコンピューターの関連性の研究は今後更に発展が期待される分野であろう。