

### 3. 医学, 生理学とシステム情報科学の融合 — 脳の情報処理原理の解明とその実現を目指して —

やまぐち・うべ・知的クラスター創成事業研究者  
山口大学理学部自然情報科学科 教授  
財団法人ファジィシステム研究所 副理事長

内野 英治



現在のコンピュータはノイマン型コンピュータと呼ばれ, これは1945年に米国ペンシルバニア大学の J.P. Eckert と J.W. Mauchley により初めて作られた ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator) と呼ばれるコンピュータが原型となっている。その後コンピュータは小型化, 高速化, 大容量化と目覚ましい発展を遂げ, 初期の単なる計算マシンから情報処理マシンへと変貌する。しかし, 現在までコンピュータの原理そのものは, ENIAC からほとんど進展していない。

今日のコンピュータは計算処理能力においては人間をはるかに凌いでいるが, 知的情報処理, 例えば, 推論, 学習, 連想, 認識などの柔軟な情報処理においては人間の足下にも及ばないのが現状である。これらノイマン型のコンピュータにヒトと同じ情報処理を期待するのは, そのコンピュータの構造からそもそも無理な話である。そのため現在では, ヒトの脳に, より近い構造を持つブレインコンピュータ(ブレインコンピューティング)の研究が盛んに行われている。

私の研究室では, ヒトの脳の持つ優れた情報処理メカニズムを構成的, 数理的に解明し, それを基に, 最終的には次世代の脳型情報処理システム(ブレインコンピューティングシステム)の構築を目指している。脳は構造的, 機能的にも非常に複雑なシステムである。ボトムアップ的には, 最近の生理学的研究により, 脳機能の分子レベルでの説明が可能になってきており, また, トップダウン的には, 情報科学分野の研究者らにより, ヒトの脳機能を模擬した多くの情報処理モデルが提案されている。

筆者のこれまでの研究は, ファジィ論理を用いたヒトの推論メカニズムの解析, 神経回路網モデルを用いた学習モデルの構築, カオスネットワークを用いた連想記憶モデルの構築, およびそれらの応用, 特に, 信号情報処理分野, 画像情報処理分野への応用を心理学や神経生理学より得られた知見をもとに, 主に情報科学的見地から進めて来た。



図1 小脳の神経細胞と神経シナプスの電子顕微鏡写真(産業医科大学 北条教授提供)

図1に示したのは、小脳の神経細胞と神経シナプスの電子顕微鏡写真である。ヒトの脳内にはこのような神経細胞が100億個もあり、個々の神経細胞からは神経線維が伸び、それらが複雑に絡み合い、ネットワーク化することによりすばらしい情報処理を行っている。現在のコンピュータは、AND(論理積)、OR(論理和)、NOT(否定)の2値論理で回路が構成されており、ヒトの脳とは構成的にも機能的にも全く異質のものである。

現在、筆者が特に興味を持っているのは、ヒトの聴覚末梢系における情報処理モデルの構築と実現、およびその音声信号処理分野への応用である。聴覚末梢系は外耳、中耳、内耳で構成され、空気の振動は、鼓膜、耳小骨、前庭窓を通して蝸牛内のリンパに伝えられ基底膜を振動させる。基底膜の基部は高周波音で振動し、先端部は低周波音で振動する。ヒトの基底膜が感じるものの出来る周波数範囲は、20Hz から20kHz であり、これ以外の音は聞こえない。20Hz 以下の音は超低周波音、20kHz 以上の音は超音波と呼ばれる。ヒトの耳に聞こえない超低周波音が、我々の健康に悪影響を及ぼすことは注意しなければならない。

さて、基底膜(3.5cm)の振動は、その上にある有毛細胞(約 3,500 個)により、神経パルス信号へ変換され聴神経系を通じて大脳へと運ばれる。具体的には、音は上で述べたように、基底膜とその上の有毛細胞により周波数分析され、神経パルス信号が中脳、間脳などのネットワーク網を伝わる過程で、音の特徴抽出など、さらに高次の情報処理が行われた後、ヒトは大脳皮質の聴覚野で音を感じる。

また、ヒトの聴覚末梢系は音の大小により自律的に感覚器の感度を変えるなど、優れたフィードバック機構も備えている。これらの機能を、生理学的知見を基にモデリングすることにより、ヒトの聴覚系の情報処理機能が実現できる。これは、現在の単なる工学的なマイクロホンでない、次世代ブレインコンピュータのバイオメティックな優れた入力装置となる。

図2に示したのは、基底膜上の有毛細胞の数理モデルである。神経生理学の知見を基に、有毛細胞内外の情報伝達物質の生成、流れ、消滅をモデル化している。有毛細胞では、情報伝達物質の流入により、細胞内電位がある閾値を越えた時に神経パルスが放出される。

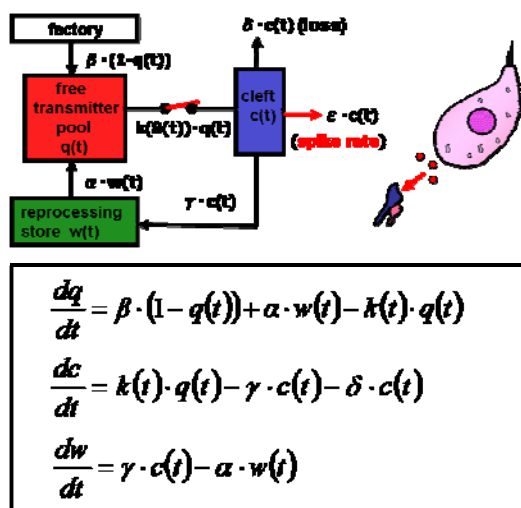


図2 有毛細胞の数理モデル

図3に示したのは、図2の有毛細胞モデルを用いて模擬音声の解析を行ったものであり、ヒトの聴覚系の特徴である順応現象が観測された。ヒトは有毛細胞からの神経パルスを基に、音声の認識をやって

おり、このモデルを用いることにより、人工的な音声認識システムでは構築できない、より認識性能の高い音声認識システムを構築できる可能性がある。

また、ヒトの聴覚系においては、カクテルパーティ効果と言うものがある。我々は、パーティー会場などにおいて、たくさんの人の話し声の中から、自分が今話をしている人の声だけに集中できる。これは、聴覚心理分野においては、選択的注意と呼ばれ、ヒトは注意を向けることにより、特定の情報だけを選択的に抽出している。

いくつかの混ざり合った信号の中から、ある特定の信号だけを抽出する問題は、ブラインドセパレーションと呼ばれ、工学的にも非常に興味深い問題である。ブラインドセパレーションの場合、混合される信号が  $n$  個であれば、 $n$  個以上のマイクロホンで信号を観測する必要があるが、ヒトは両耳もしくは片耳だけでもこのカクテルパーティ効果をいとも簡単にやっている。これは、音声の特徴分析を行い、脳内に記憶しているあるカタログと照合し、特定の話者の声のみを聴いていると言われている。これが実現できれば、自動的に必要な情報のみに注意を向け、他の不必要な情報は一切入らない、すばらしい入力装置が実現できる。

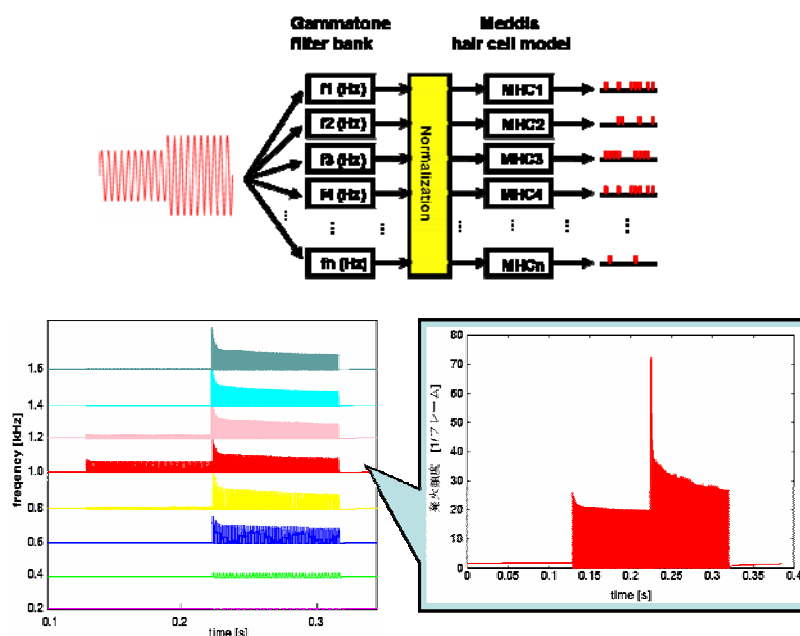


図3 聴覚抹消系の数理モデルと順応現象の観測

筆者らの研究グループでは、聴覚系のモデリング以外にも、嗅覚系のモデリングもやっており、将来はこれらのモデルを IC チップで実装し、人工聴覚、人工嗅覚の実現を目指している。人工聴覚は聴覚障害者の蝸牛に IC チップを埋め込むことにより、聴力の復活に寄与することができる。また、人工嗅覚は、ヒトの嗅覚よりすばらしい嗅覚を持つ動物の嗅覚系を模倣することにより、ヒトでは不可能な微弱的な匂いを検出できる、人工嗅覚システムを実現できる可能性がある。

ヒトの脳機能の解明には、感覚器そのもののモデリングと共に、それらの感覚器からの信号を脳がどのように処理するかと言った、さらに高次の情報処理モデルが必要となり、今世紀から来世紀に渡り、今後、様々な研究分野を巻き込んだ学際的な研究パラダイムになるであろう。

また、筆者らの研究グループでは、ヒトの情報処理過程を信号処理や画像処理に応用した研究も行っている。本知的クラスター創成事業では、サブプロジェクト「高性能動脈硬化診断システムの開発」において、超音波・光カテーテルより得られた血管内エコー信号/画像の知的解析および知的診断システムの構築を行う。