

バイオエレクトロニクスのはなし

— 生体分子の機能を酷き使う —

生物生産学部 岡田正和

芸術、哲学、科学などを創造し、発展させてきた源泉は脳の機能である。その脳は有機系分子と無機系分子から構成されており、それ以外の分子は生物圏には見あたらない。

「創造活動をする機能をもつ分子」は見い出されていないが、人間は素晴らしい創造活動を展開している。また、「生命のメカニズムを発現する物質・分子」も科学的に解明されていないが、それでも生物は生き続けている。

生物のからくり、いいかえれば「生き物らしさ」とは何だろうか。19世紀の哲学者は「生命現象とはタンパク質の存在様式あるいは運動形態のひとつである」としている。この提案は今でも、ことあるごとに議論になることが多い。

なんとなくバイオテクノロジー

バイオテクノロジーという言葉を見聞きすることが多い。このカテゴリーは「生物または生体を構成している分子・分子集合体・素材の機能を人類のために有効利用する技術」であるとしてきた。しかし、これだけでは、今のバイオテクノロジーの内容が十分に反映されていない。

むしろ、今のバイオテクノロジーは、現代生物科学の研究成果を基調として、主に生体系分子（酵素、タンパク質、脂質など）、分子機械（生物は有機系分子の持つ機能を巧妙に使っている）ので分子によって構成されているシステム）のレベルで総合化した機能を、利用する科学・技術であるといった方が適切かもしれない。例をあげるならば、遺伝子工学、タンパク工学、細胞工学などがある。

ニューバイオテクノロジーとは

かくして、いまのバイオテクノロジーは、従来のバイオテクノロジーと区別するため、ニューバイオテクノロジーと称されるようになってきた。ニューバイオテクノロジーの特徴は「人間が生物を有効利用するために利用目標を設定して、その目標をクリアするために新しい機能を設計する」というニュアンスが入っている。この点で従来のバイオテクノロジーとの相違が明確に理解されよう。

遺伝子工学、タンパク工学、細胞工学などは、「工学」という文字をつけて「機能設計」をするという意味を強調しているといえよう。

頭脳のはたらきをまねる科学研究

このニューバイオテクノロジーとエレクトロニクスの融合が、バイオエレクトロニクスであり、バイオエレクトロニクス研究の最終目的は、非ノイマン系コンピューター（バイオコンピューター）を創製することにある。いずれにしても学問研究としては新領域であり、近年この研究の進展は目ざましい。

バイオエレクトロニクスがカバーする領域は広い。この新しい領域が科学者・研究者に注目されるようになったのは“分子素子”の構想による。

米国の海軍研究所の F. Carter は分子電子デバイスのアイデアを提案した（1979年）。Carter はすでにこの世にいない。彼は1981年と1983年の2度にわたり分子電子デバイスのワークショップを開きインパクトをこの分野の研究者にあたえたのである。

Carter と同じ頃に米国の McAlear は生体系分子の機能を利用したバイオ素子のポンチ

図を示し、超 LSI に代わる新しいデバイスを創製する提案を行った。

しかし、Carter や McAlear の提案はきびしい議論にさらされて、当初の強烈なインパクトが比較的速やかに収まりつつあるようだ。

だが、当面の目標となっている分子デバイス、バイオ素子を創製する構想がいまでも追求され、バイオエレクトロニクス研究の展望が若干開けつつあるように思われる。

これらの構想を実現化するために、キーとなるべき基礎科学の領域で不十分であったと考えられるのは、マクロ的現象から分子メカニズムにアプローチするときの考え方と分子集合体の構築におけるマイクロ配向制御の解明であった。

人間の五感はデバイス

人間の頭脳、目、口、耳、鼻、手足の役割は分子・バイオ素子であるといえる。これらの器官の機能を手本にして素子をつくる構想が分子・バイオ素子構想といわれており、その内容は生体情報処理の機能や生体系分子を素材としてつくられる新しい素子ということになる。

生物の魅力ある機能の源をたどれば、機能発現を有する分子や分子集合体（超分子ともいう）となる。これらの分子集団は機能素子と位置づけられる。この機能素子が高度に総合・システム化され生物を形成している。

バイオエレクトロニクスの視野からみると、遺伝情報の主役である DNA や mRNA などの核酸分子は、超高密度の記憶素子である。また、複雑な構造をしているタンパク質分子が分子メモリー機能を持っていることが解明されてきている。このような機能をどのようにして模倣したらよいかはバイオエレクトロニクス研究の課題である。

バイオエレクトロニクスの出現で従来のエレクトロニクスの発想ではできない方法で情報の記憶や読み出しが行われている。全く驚くべき機能がタンパク分子集合体のなかに秘められているのだろう。

生体内の情報のやりとりは分子の移動と分子認識である。分子によって情報が伝わることが多い。したがって情報分子という用語もしばしば用いられている。血液などの体液を循環して情報伝達するホルモン、ニューロンのつなぎ目、シナプスで情報を伝達する神経トランスミッターなど分子・バイオ素子に属するものがみうけられる。情報分子を解読するのは分子認識素子の役目であろう。それをレセプターと称し、酵素、膜タンパク質、抗体がその機能をもつ素子である。

生物の情報処理機能に学ぶ

さらに、生物の情報処理の特徴にもふれぬわけにはいかない。それは脳・神経系とコンピューターの差異を比較してみることで理解されよう。コンピューターでは直列（時系列）情報処理を行っているが脳・神経系では並列処理が行われている。この生体システム系は分子認識機能素子の組み合わせによって構成される。分子認識機能素子は生体内で生産される分子で、必要があれば自己修復されたり再生産される。しかも遺伝情報をメモリーした機能をその分子はもっている。

2年前よりニューロ・コンピューターの研究が注目されている。このコンピューターの素子は分子・バイオ素子ではなく、超 LSI 光素子である。したがって分子・バイオ素子を構築することを目ざす研究者の立場からすると新味はない。このコンピューターの機能として、ニューロンの複雑なネットワークをモデルにして、並列情報処理が可能になるように構築されている。

生体機能を使うセンサー

分子認識機能素子と称され、いまや我々の生活に必須のものになっている素子がバイオセンサーである。バイオセンサーはバイオエレクトロニクスの代表選手といえよう。表 1 に見られるように酵素、抗体、結合タンパク質、レクチンなどの生体分子は分子認識機能をもっている。この分子認識のしくみを応用

してバイオセンサーがつくられる。酵素の分子認識機能を利用する酵素バイオセンサーが臨床検査、環境化学分析、プロセス計測などの産業分野に使われている。

表1 分子認識機能をもつ生体分子

生 体 分 子	認識される分子系
酵 素	基質, インヒビター, 補酵素
抗 体	抗原, 抗原アナログ
結合タンパク質	レチナル, ビオチン
レ ク チ ン	糖鎖, 糖鎖をもつ分子や細胞
ホルモンレセプター	ホルモン

最近、ガンの早期発見の検査において、少量の血液や体液から多種多様な成分を短期間に測定して、ガン細胞の生み出す物質を検出できる手法の開発研究が推進している。血液中の「ガンマーカー」の濃度を調べることによってガンの診断が可能となってくる。

また、バイオセンサーの機能もちいて、魚の鮮度測定ができる。魚が死ぬと体内にあるアデノシン=リン酸（ADP）が時間の経過とともに、加水分解されて最終的に尿酸になる。この分解過程の濃度を指標として鮮度を求めることができる。

それに味センサーの開発研究も進んでいる。

味の基本的化学物質、グルタミン酸、イノシン酸、アラニンなどを検出し、これらの検出量から旨味強度を求め、これをコンピューターを利用して表示するようなシステムの開発が行われている。したがって、多機能バイオセンサー（インテリゼントセンサー）の改良で呈味成分を検出し「うまい」「まずい」を判別することができるようになるのもすぐそこに来ている。味に対してにおいては密接な関係になる。におい成分を検出して、においの分子を電気信号に変換する試みが行われ、人間並みににおいをかぎわかる臭覚ロボットができています。このロボットで「きき酒」を行うことができるのも、ま近であろう。

高度化した多機能バイオセンサー研究の展開からやがては分子・バイオ素子へと発展することが期待できる。このような研究開発課題のなかで最も重要な基礎研究とは、生体系分子超薄膜の分子配向制御の方法を確立することである。そのために分子認識機能を制御するための評価技術システムが求められている。この基礎研究を推進させる駆動力となるべき新しい学問領域の創成を一刻も早く急がねばならない。この領域の創成によって周辺の学問研究に大きなインパクトを与えることは、日本の科学・技術の水準を高めつつ、「研究ただのり論」といわれている状況を変革する契機になると確信している。