



次世代を担うバイオコンピュータ

相澤研究室～生物工学科



相澤 益男 教授

酒の醸造、みそや納豆などのように、生物のもつ機能を利用して、人間の生活に役立てていこうという試みが昔から行なわれてきた。近年では生物の持つさまざまな優れた機能を多くの方面で工業的に利用するバイオテクノロジーが盛んに行なわれてきている。しかし、現在のバイオテクノロジーも、昔から行なわれてきた酒の醸造なども、基本的には生物の機能をそのまま利用していくものである。では、生物の持つ機能はすでに完成された機能なのだろうか。もっと改良の余地はあるはずであり、そうであるならば効率を上げることができることになる。そこで、生物の持つ機能を理解した上で、さらにそれを越えるような素晴らしい機能を実現していこうとするスーパーバイオという考え方が生まれた。



3段階に分けられたバイオコンピュータ

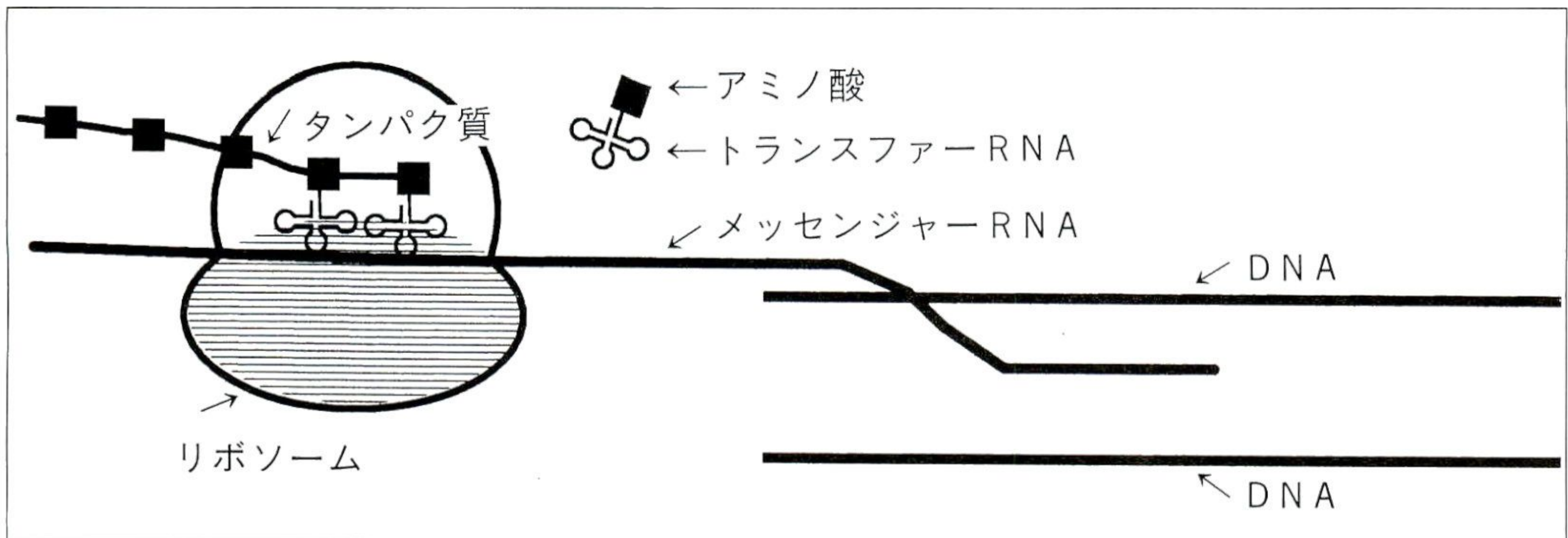
相澤研では、このスーパーバイオという視点からバイオコンピュータ等のバイオエレクトロニクスを作り出す研究がなされている。そこで、生物の機能がどのような因子で支配されているのかを調べ、理解した上で、生物の機能をコントロールしていく必要性が出てくる。

相澤先生の考えるバイオコンピュータとは「生体内の情報処理機能を生体外で実現する」という考えに基づいている。主に、バイオセンサー、生体外のタンパク質合成、脳神経細胞を利用したコンピュータという3つの段階にバイオコンピュータを分けて考えている。

まず第一の段階としてバイオセンサーが挙げられる。相澤研では世界に先駆けてバイオセンサーの研究が行なわれてきた。これは感覚器などの生体の情報取り入れ機構を模したもので、既に医学方面などで広く実用化されている。例えば、血液検査による血糖値、コレステロール値を各家庭で

簡単に測れる機械がある。これはバイオセンサーのチップに血液をにじませることによって血液中の成分を測定するものである。このチップにはグルコース酸化酵素が固定されてある。この酵素が血液中のブドウ糖を酸化する際に、消費する酸素をバイオセンサーが感知して、血糖値を測定する仕組みになっている。この機械はたいへん小さなもので、すべての付属品をあわせても背広の胸ポケットに納まってしまうほどである。





アミノ酸がリボソームによってタンパク質に合成される様子

その他にもバイオセンサーはいろいろなところに利用することができる。食品中の成分物質、大気汚染物質、水中の汚染物質の測定等、さまざまな所での利用が考えられる。最近相澤研では、汚染物質が大気中に存在すると、それに応答して光るバクテリアというものがつくり出された。これは、ホタルの尻を光らせる仕組みとベンゼンやトルエンなどの汚染物質が大気中に存在すると、ある物質をつくりだす仕組みを遺伝子工学的に組み合わせるものである。つまり、ベンゼンやトルエンが大気中に存在すると光るように、バクテリアを細工してしまうのだ。

バイオセンサーの次の段階として挙げられるのが、細胞外でのタンパク質合成である。細胞の中でタンパク質を合成する働きを持つのがリボソームという細胞小器官である。現在の技術ではタンパク質の設計図である遺伝子の解読、組み替え、合成は容易にできるようになった。しかしその設

計図通りのタンパク質を合成するためには、一度生きた細胞の中に遺伝子を入れて作らせる方法しかない。リボソームは細胞内で、設計図である遺伝子の情報に基づいて、材料であるアミノ酸をつないでタンパク質を作る。このときリボソームへ遺伝情報を運ぶのがメッセンジャーRNA、アミノ酸を運ぶのがトランスファーRNAである。

相澤先生は「リボソームがタンパク質を合成する作業を生体外で実現できないだろうか」と考えた。そこで、容器の中にメッセンジャーRNA、トランスファーRNA、アミノ酸、そしてリボソームを入れて実際にタンパク質を合成させてみた。原理的には正しいことがわかっているが、まだ安定性という面で問題を残している。

そして、3つめの段階として挙げられるのは、脳・神経細胞の情報処理機能を利用したバイオコンピュータである。では、どの様にして脳・神経細胞の情報処理機能を解明していくのだろうか。

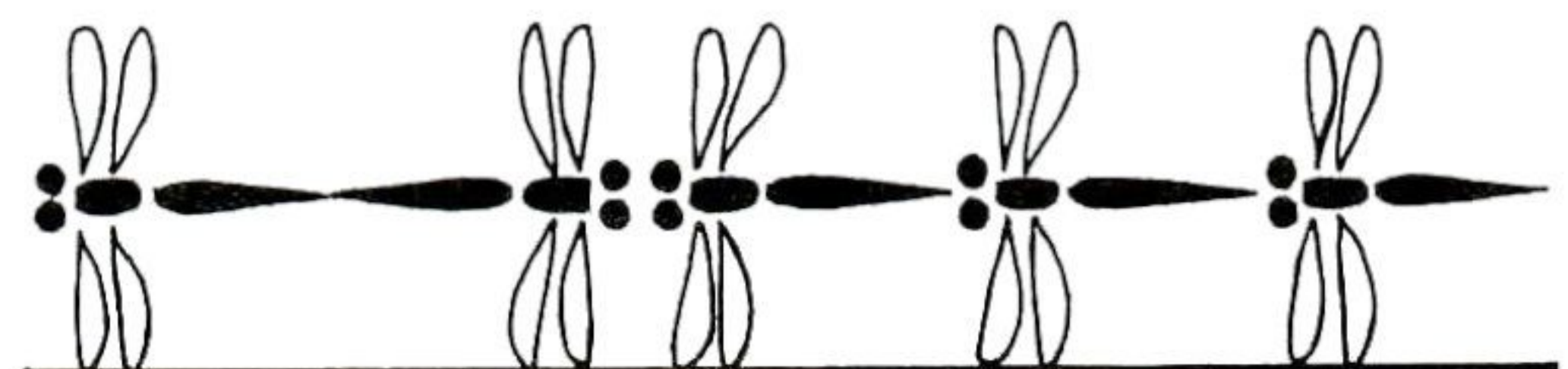


神経ネットワークの構築——電気制御培養

相澤先生は、学生時代に電気化学を専攻していた大学院に進学するときにバイオ方面へ専攻をかえた。研究を進めていくうちに、細胞の働きには電流が関係していることに気付いた。そして、電圧をかけることで、細胞の分裂や分化を制御する電気制御培養という独自の方法を確立した。相澤研では、この方法を用いて脳・神経を細胞のレベルで取り扱い、スーパーバイオを脳・神経系で実現しようとするのが脳・神経工学の研究における基本的な姿勢となっている。

相澤研では脳細胞そのものではなく、ラットか

ら取り出したPC-12という細胞を使って研究を行っている。この細胞はNGF（神経成長因子）があると、普通の細胞が行なうような細胞分裂を止めて神経細胞に分化する。つまり、それまでとは違う働きを持った細胞になってしまう。相澤研では電気制御培養をPC-12細胞が分化するプロセスに適用した。するとある一定の電圧が与えられ

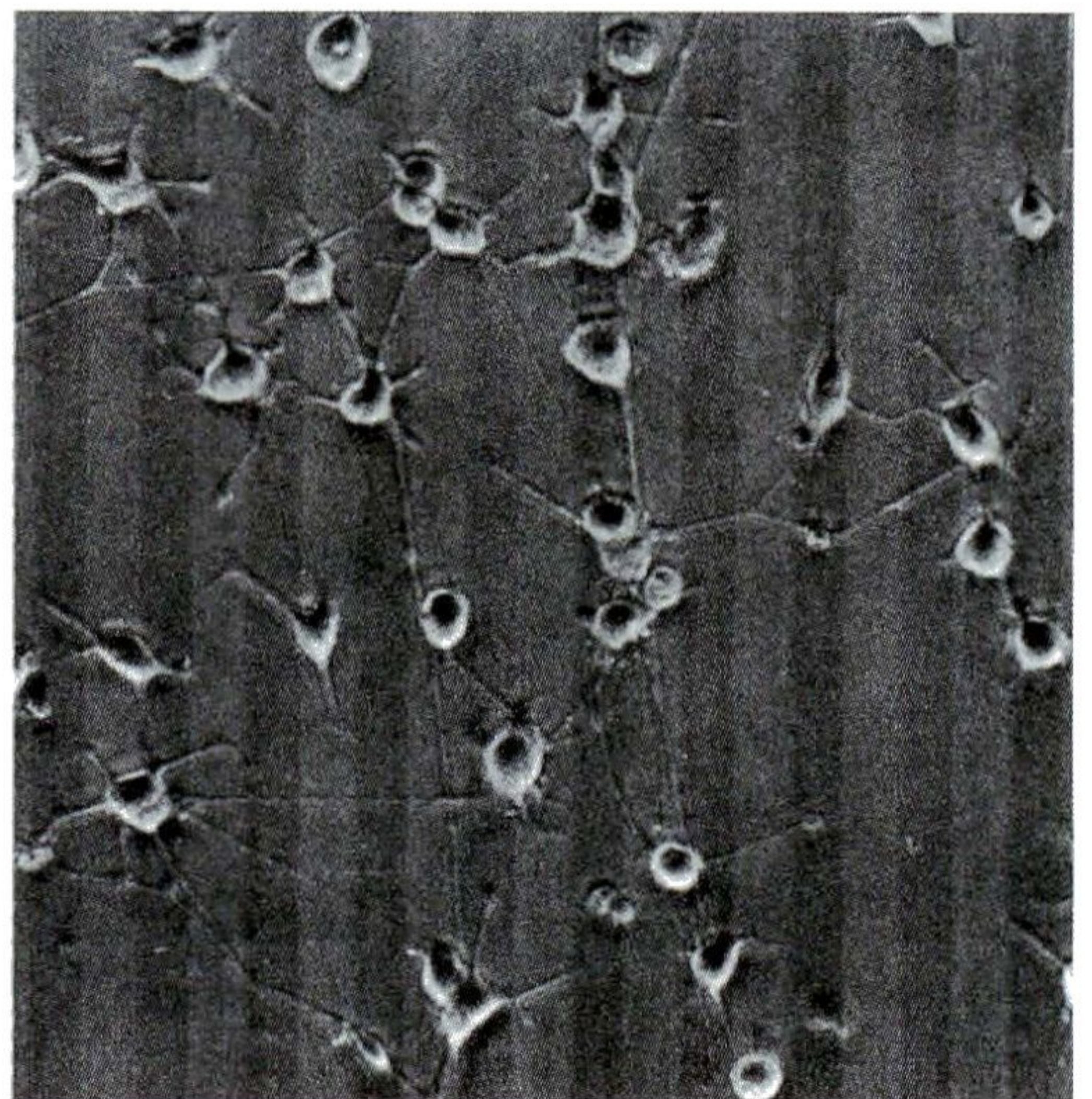
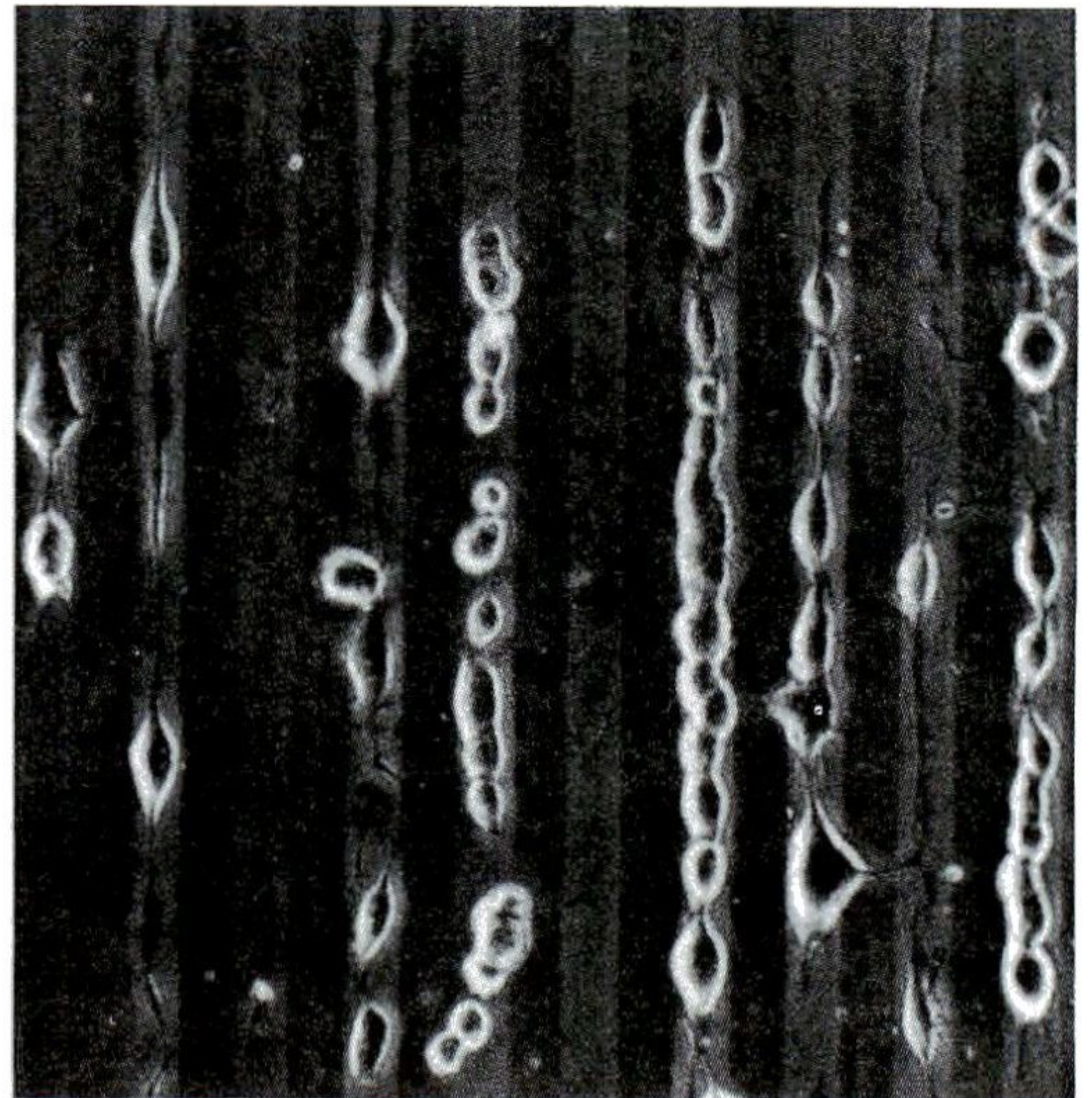


ているところには、NGFがあるにもかかわらず細胞が神経突起を出さなくなることが発見された。この原理を研究しメカニズムを明らかにしていくにつれ神経ネットワークを自在に構築していくことが可能になりつつある。

神経細胞はある細胞から信号がくると、神経細胞どうしの連絡路であるシナプスを通り次の細胞へと送られる。このくりかえしによって我々の神経ネットワークは形成されている。脳はこのような神経細胞が複雑に3次元的な網構造となって作られているので、脳の働きを研究していくことはそう簡単ではない。そこで相澤研では、3次元ではなく2次元で神経細胞のネットワークを造ることを考えた。人間の設計図通りに神経ネットワークを構築していくといったことが人工基盤の上に神経ネットワークを自在に構築していくことにつながっていくのである。

設計図通りに神経ネットワークを作るために、まず神経細胞を思い通りの方向に伸ばしていくことができればならない。そこで、PC-12細胞を電気制御培養で制御していく方法がとられたのである。

まず神経細胞をまっすぐ伸ばすことが必要となる。そこで、ガラス基盤上に間隔20ミクロンで電極をはる。電極にはPC-12細胞が伸びてこれないような電圧をかけておく。PC-12細胞は電極には伸びていけないので、電極にそってまっすぐ伸びていくしかない。そうしていくうちに、ガラス基盤上に神経細胞を次々とつなげていくことに成功した。この成功により、設計図通りに更に複雑な神経ネットワークを構築していく足がかりができたのである。



電圧を加えた時(上)と電圧を加えない時(下)に神経突起を伸ばしている様子



脳・神経の神秘——さらなる研究へ

神経ネットワークを設計図通りに構築できたとすれば、次は一つひとつの神経細胞の働きを明らかにしていく必要がある。そこで、相澤研では、ちょうど脳波を調べるのと同じように「一つの神経細胞に電気信号を調べるための測定機器を付けて様々な刺激を加えてみる。その反応として細胞から出てきた信号を直接モニターすることで、その神経細胞がどのような働きをするのか、わかってくるはずである」と考えている。相澤先生は「今

行なっている方法では1つの細胞に小さな電極を直接差し込むため、最終的にその細胞は死んでしまう。だから、直接に電極を差し込まずに神経細胞の働きをみるのが、今後の目標です」と、おっしゃっている。しかし、今のところ神経細胞一つひとつがどのような働きをしているのかまだよくわかっていない。昔は、神経細胞は1つのトランジスタと同じようなレベルの素子と考えられていたが、現在では「超LSIに匹敵するほど複雑な働き

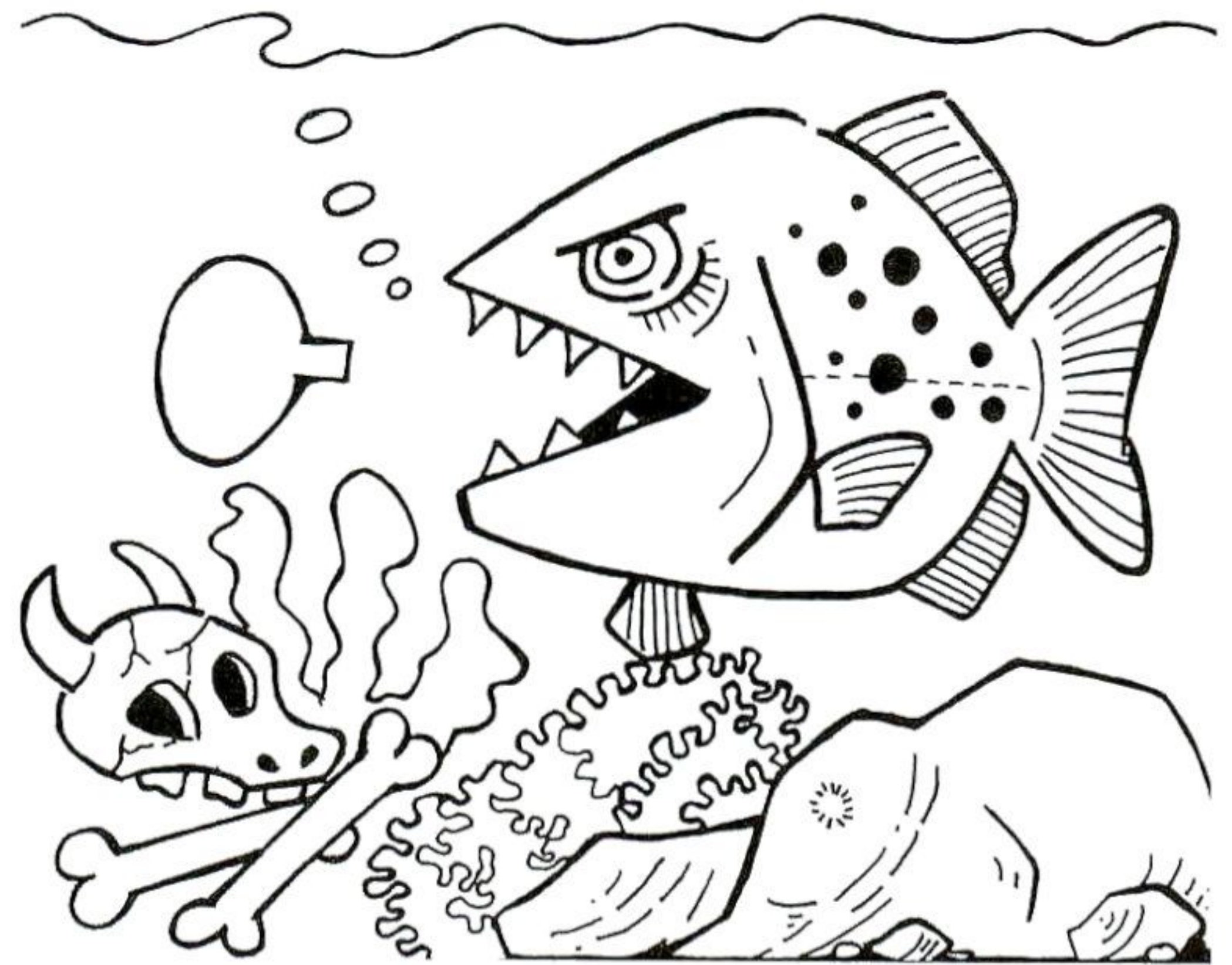
をしている」と言われるようになった。

また、神経ネットワークでは、細胞どうしのつなぎめであるシナプスが情報処理機能をつかさどる重要な部分となっている。そういった情報処理機能がいったいどのような原理に基づいているのか。さらに、脳には特有のアルゴリズムがあると考えられるが、それが一体どのような様になっているのか。これらを解明するために人工神経ネットワークの回路にいろいろな入力を与える。そしてその特性を測定し、一つひとつの神経細胞の働きを理解していくことが必要になる。これらが今後の大きな課題となっている。



変貌を遂げるバイオコンピュータの未来

さて、脳・神経系を利用するバイオコンピュータと、現在いろいろな所で使用されているデジタルコンピュータではどのような違いがあるのだろうか。簡単に言えば、脳・神経系を利用するコンピュータは右脳、デジタルコンピュータは左脳の役割をすることにたとえられる。左脳は計算したり緻密な数値を積み上げていくことが主な役割となっている。これに対して、右脳は情緒的なことを考えたり、創造的な作業をする役割を主にしている。つまり右脳的なコンピュータができると、今まで多くの機械でうたわれてきたファジイというものがもっと発展していくことになる。バイオコンピュータの研究が達成されるまでにはまだまだ時間がかかるが、その開発過程において人間の脳・神経系と電子回路をつなぐということが可能になってくる。そうすると、たとえば人工視覚系



を作りそれと視覚神経をつなぐことで目に障害を持つ人に役立てていくことが可能になる。このように人工感覚器官を作ることで社会に役立てていくことも可能である。すでにアメリカではこうした研究がなされている。

このように、脳・神経系の研究はいろいろな方面で役立てていくことが考えられる。半導体というような素子を扱っている人にもこれらの研究に当然関心を持っている。エレクトロニクス関連の企業もこの研究に取り組むようになるであろう。21世紀は脳・神経系の時代と言われさまざまな分野で注目されている。現在、この研究は発展途上の段階ではあるが既にこれだけ多くの利用が考えられている。さらに研究がすすめられるにつれ私たちの生活を大幅に変えていくに違いない。

バイオテクノロジーという言葉は何年も前からよく話題となっていたが、どのような研究が行われているか実際に知る機会はなかった。実験室には、所狭しと実験装置が並び、いろいろな研究がおこなわれていた。今回の取材でその分野の最先端をゆく相澤先生の研究の一部に触れることができ、とても感銘を受けた。忙しい合間に取材に協力して下さった皆様に感謝します。

(角田)

