

生体モデルと工学

大阪大学工学部 嘉納 秀明

1 まえがき

科学技術の進歩は、多くの複雑な現象を分類、整理し、個々の法則性を明らかにした。そのために、分析的な方法がとられて、「どこが異なるか」という論理のもとでの現象の解明が行われていた。しかし機械が進歩するとその機能のうちに、外界の変動にも適応してゆくものもちはじめ、生体の挙動に近いものになってきたし、社会現象までも含めて、我々が現実に対応している多くの現象が、独立した事象の混在ではなく、互に関連しあい、干渉しあっていて、それらを切りはなして考えていたときは、まるで違う様相を呈することが問題とされるようになって来た。

できるだけ広い領域にわたって、統一的な見解をもとうとすることは、古来より人類の大きな願いであったから、分析的な解明の積み重ねの中から、新しい科学的方法が生み出されてゆくことは時代の要請でもあった。

第2次世界大戦後、N. Winer¹⁾ がサイバネティクスの思想をうち出したのはまさにそれに答えたことになっていた。

多くの明らかに異なった現象をむすびつけようと考えれば、一度「どこが同じか」という論理に立ちかえらなくてはならない。「どの一枚の葉といえども、みな他と異なる」といわれている。しかし我々はそのすべてに葉という言葉をあてている。このように「同一視」から生まれる類の概念によって、現象の構造を考えることが必要となる。ではいかなる方法をもってサイバネティクスは同一視を行うのかということが問題となる。

サイバネティクスの方法は、行動主義もしくは機能主義的方法であるといわれている。物質性やエネルギーなどの考えを背景におしやって、異なった現象でも、その動きが同一視できうれば、これを等価とみるのである。そして、その現象の動きを「情報」という名に統一したのである。この同一視のもとで、類概念をもって、統一性と多様性もち複雑な現象を考えると、その構造は「システム」としてとらえられる。システムは常に方向づけられた「場」の中にある。工学システムならば、それは評価の場にあり、生体システムならば、生存率最大

とか自由度の拡張とかの場におかれていることになろう。従って、システムはすべて広い意味での目標追求体系であって、その拘束のもとにある情報の流れや構造は「制御法則」としてとらえられる。

こうした、サイバネティクスの思想と方法を大きな基盤として、多くの分野がひらけてきたし、異質の分野が共通の立場をもつことになって、境界領域の開拓も進んで来た。その中から、医学、生物学と工学との結びつきだけを考えると、バイオニクス、M. E. (Medical Engineering)、人間工学、ロボット工学など多くの分野が挙げられるであろう。

生体をサイバネティクスの立場から考えるかぎり、いくつもの機能をもつシステムの重ね焼きのような存在として、それはとらえられる。それらの機能の一つが抽出され、あるレベルでの許容関係を満たして、他のあるシステムと等価であるとき、このシステムを、その機能のそのレベルでの「モデル」と呼ぶ。かくして生体の機能の研究とはそのモデルの研究に他ならない。

自然界における生物は、前にのべた「生存率最大」という場において、生存競争をおこない、突然変異によるいくつかの変種のうちから生存に有利なもののみが増殖し、進化して来た。そのために、生体の各器管の構造は、その機能目的を最大に達成するような構造になっていると思われる。工学における最適理論はそのいくつかを解明している。

もっと現実的で興味深いのは、やはり人間の機能のモデルであろう。人間の機能は大別して3つに分けられる。第一は自律的機能で、恒常性またはホメオスタシスと呼ばれ、体温や血中の O_2 、 CO_2 、濃度 pH、ホルモンなどを生存に都合のよい量に保つ機能である。第二は運動機能で手足の運動、発声、目の動きなどである。第三は情報処理機能で、目、耳、口や、温感などの受容器、情報伝達の神経系、中枢よりなる。中枢の機能はさらに反射など生存の土台となるハードウェアの機能と、言語、学習をもったためにつけ加わった理論的思考などのソフトウェア的機能に分けられる。最近関心の高まっているロボットは運動機能に受容器とある程度の知能をつけ加えたものが考えられている。

人体モデルの最も直接的な応用は、補綴工学としての人工臓器や義肢であろう。サリドマイド禍や交通事故、工場災害などの不幸な事件による不具者のために、感覚や制御性をもった義肢が工夫されつつある。

機械文明の高度化は人間と機械の関係を大きく変えている。人間のための機械が兇器になったり、安定をおびやかすものになって来た。そこで、もう一度人間と機械の関係を一つのシステムとして見なおし、人間の能力や限界に一致するように器具、作業方法、環境を設定することが必要となって来たので人間と機械が一体となった系モデルが考えられている。

2 情報処理機能と工学

2.1 神経細胞と神経回路網モデル²⁾

神経系を構成する基本的単位は神経細胞であって(図1)、神経細胞は 1mm^3 中に200万个あり人間の脳は100億の神経細胞からなる回路網である。数千個の他の細胞のシナプスから細胞体に入力としての刺激が入って来ると、神経細胞は刺激の総和がある一定の値すなわち閾値に達しないと興奮しないが、越えると興奮し、電気的变化を生じ、パルスの活動電位を発生させ、シナプスを通じて、毎秒1~50m位の速さで他の細胞に伝える。神経細胞の興奮の伝導は電気回路を用いて等価的にモデル化される。また濃硝酸中に鉄線を浸すとその表面が酸化被膜で覆われるがその一部を亜鉛棒でつつくと被膜にキズがつき、そのキズが鉄線上を移動するのが神経線維の興奮伝導と類似するので、電気化学的モデルとして知られている。

神経細胞の機能とシナプスの機能を抽象化して、組合せると神経回路網のモデルができる。最も簡単に考えると、AND, OR, NOT 素子や多数決素子、遅延素子などの機能でモデル化され、このモデルは電子計算機と同じ働きが出来うる。またイタリア人 Cavaniello は回路網の過渡状態を記述する神経方程式をつくった。彼はこれによって脳の基本的機能のいくつかが説明されると主張している。

2.2 学習制御

神経モデルから人間の知的活動までも説明することはいまのところ無理であるが、人間の知的態度を機械の中にとり入れてゆくことは非常に重要である。先行経験によって、行動の様式を変えてゆく機能を学習機能という



図1 神経細胞の模式図

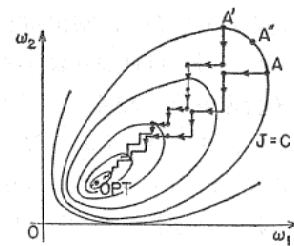


図2 最適化問題の等評価線

が、最もソフトな機能の一つであろう。学習には教師のいる場合と自分の行動をその場の評価によって評価しつつ自習する場合とがある。図2は化学プロセスでよく起る2パラメータ最適化制御の等評価曲線群であり、状態がOPTにあればよいわけであるが、プロセスの変動でAにとばされたとすると、最適化制御によってジグザグにOPTに近づいてゆくことになる。次にまたA'にとばされてジグザグにOPTに近づいたとしよう。さらに今度はAとA'の間A''にとんだとき、ふたたび試行錯誤をくり返す必要があるだろうか? AとA'からの軌道を参考にして、跳躍的にOPTにゆけないだろうか? A''→OPTの操作はAやA'からのそれとは似てはいくつかの領域に分割して、領域ごとでの操作のパターンを決めてゆくように学習する必要がある。そのために次にのべるパターン認識が重要な要素となる。日本での学習機械としては名古屋大学で考案された Learntrol³⁾が有名である。

次に教師のいる学習の単純な例を紹介する。これはプログラムで、まずデータXをよむ、Xには1か2を与える、X=1のときAをプリント、X=2のときBをプリントさせたい。このプログラムはX=1のときYに0~1までの一様乱数を読ませて、はじめ0.5にセットしてあるRと比較して、Y<RならAをプリント、Y>RならBをプリントさせる。つまりX=1であっても半々の確率でAかBをプリントする。この結果を先生のプログラムがみて正否を評価する、正しくAをプリントしていればR=0.6にする、BであればR=0.4とする。ただし $0.1 \leq R \leq 0.9$ で調整する。このプログラムは何度かの試行教育をうけると9割正しい答を出す。しかし、X=1のときB、X=2のときAをプリントするような対応にかえても、学習によってふたたび9割正しい答が出せる。1割のあやまりを出すことが、新しい事態への適応の芽となっている。

2.3 パターン認識

機械が文字を読んだり、人の声を聞きわけたりすることは人類の長い夢であった。しかしパターン認識の自動化技術が進歩したため、OCR(光学式文字読み取り装

置)などはすでに普及している。昭和43年6月に中央郵便局が導入した郵便番号の自動読み取り区分機などもその一つである。不特定多数の人間が手で書いた数字を読むためにはたとえば、3という字のあらゆる形の類を認識しなければならない。パターン認識の方法には2つある。OCRで使われているように数字のしめる面積の差で区別したり、数字をいくつかにスキャンしたときのパルスの数で区別したりするものと、人間がするように学習によって次第に類の概念を形成してゆくものがある。パーセプトロンはこの後者の例でありかつ中枢認識機能のモデルでもある。パーセプトロンは受容器、連合器、応答器の3つのユニットからなる(図3)。受容器にい

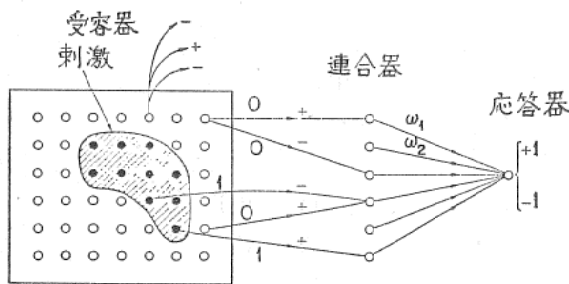


図3 単純 Perceptron の構造

まA類の図形とB類の図形をつぎつぎに与える。刺激が入ると白のところは0、黒のところは1の信号を連合器に送る。連合器から出る信号はある重み w_i をかけられ、応答器はその和によって1又は-1の出力信号を出す。A類図形るとき1、B類図形るときは-1を正解として誤ったときは重みを変更するよう学習をつづけるとパーセプトロンはやがてA類とB類の図形の群を完全に区別する機能に収束する。いつれにしても手書きの文字がコンピュータに自由に読めるようになれば、キーパンチャーが過酷労働から解放されるし、図形認識は医学における自動検診システムを可能にする。ロボットに関しては立体感を認識する機能が必要となって来る。

3 生体の自律機能モデル

生体の自律機能は工業における石油化学工場のようなもので自立した可動部分はないが、化学反応、流動、熱交換など種々のプロセスをもっている。ロボットなどに比べるとそのモデルについての研究は地味なもので注目をひきにくいようであるが生存の土台となっているものが多く、むしろ生体機能の基本的部分の解明につながるものである。この面での重要な応用として人工臓器の問題があるが、この他にもモデルが種々の機能障害による病気の原因追求に役立ち、生体〜環境システムにおいての各種の試験に役立つものをもっている。例えば、薬物

の影響をテストできるモデル、衣服や空調の効果をテストできるモデルなどが考えられ、さらに宇宙船に乗せてその影響を調べたり、公害などに対するモデルによる生体実験用ダミーとしての役割りもある。

自律機能モデルを考えるには、システム論的考察がまず第一になされなくてはならない、すなわちいかなる分割を行うかを定め、これによって最小単位プロセスとその状態変数、時間間隔、サブシステムの結合などが定まり、解析のアプローチが決まる。次に物質移動、熱移動、化学反応などを分割したブロックごとに計算して微分方程式に表現する。この関係は多くの場合非線形で、境界条件も複雑になっているので、これを解くには電子計算機を用いることが多い。

しかしモデル作成のための第一の困難は観測データの不足であり、従来医学などでは静特性についてのデータ観測が多かったため、新しく動的モデルを作ってもその係数などを決定するためのデータは新しくとりなおさなければならない現状である。第二の困難はモデルを閉ループと考えると制御器としての中核の働きが今のところ何もわかっていないといってよいことにある。この問題については当分試行錯誤的仮説をたて、実験をつづけて解明してゆかざるをえないであろう。

自律機能モデルとしては、呼吸化学調節機能とか、血圧分布、性ホルモン分泌制御などに対するモデルもあるが、体温調節系モデルはかなり古い歴史をもっている。1950年 MacDonald, Wyndham が始めて電気回路をつかってモデル化し、1960年には Wyndham, Atkins が円筒モデル、1966年には Stolwijk, Hardy が人体を頭部、胴部、四肢部に分け、3つの部分でそれぞれ異なる基準温度からのズレで調節されているとした。以下、人体を熱交換器とみたモデル⁴⁾について紹介しよう。

人体は温度が一定でない皮膚と皮下組織との外部と温度がほぼ一定に保たれる内部に分けられる。内部にはシバリングと代謝による熱発生があり、血液の循環によって外部に運ばれる。皮膚表面では発汗に伴う熱放散がある。そこで図4のような熱交換プロセスをそのモデルとして考える。

図中 V_1 は心臓、大動脈、大静脈及び静動脈。 V_2 は胸腔、腹腔内に分布する小動静脈と毛細血管。 V_3 は皮膚と皮下組織に分布する小動静脈と毛細血管である。皮膚血管への血流量の変化はバルブ V_F によって操作される。発熱 Q は内部で行われ、血流と体組織の熱伝導によって移動する。体表面では熱伝達によるほか、発汗 N による熱放散が行なわれるものとする。体温はこうして外部血流量 F_3 と Q と N によって操作されているとする。内部温度は一定と仮定されるから、外気温 x_e の変化に

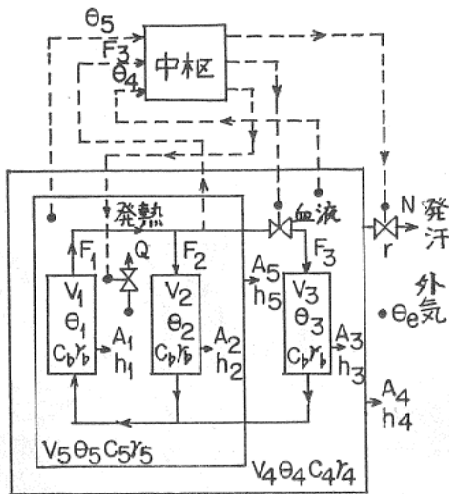


図4 体温調節モデル

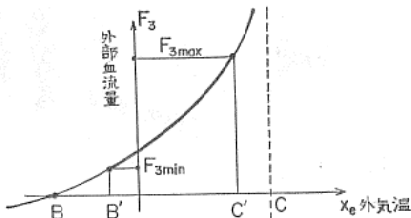


図5 内部体温を一定に保つための外気温の外部血流量との関係

伴う F_3 の変化をモデルによる計算によって求めると図5のようになる。すなわち外気が高くなりCまで来ると血流量は無限大になり、逆に外気が下がりBまで来ると血流量は0となる。したがってBC間が理論的制御可能範囲であるが実際は血流を0とすることはできないし、血管の太さで無限大ともならないので B'C' が実制御範囲となる。B' 以下の低い外気に対しては我々が日常経験するジバリングが熱発生を行うし、以上の高い外気に対しては、発汗の気化熱による熱放散を行う。従って人間は相当広い範囲に対して内部を一定に保つことができる。動特性についても中枢の調節系の形を仮定することによって解析できるが、実験では、25°Cと30°Cの無風状態で裸の人間の皮膚温が周期5～6分の変動サイクルをもつことが認められている。

4 生体の運動機能のモデル

運動機能の例として、カマキリの捕虫の機構⁵⁾について考えてみよう。カマキリが自分のまっすぐ前にとまっているハエを注視すると(図6)その像は両眼(A)それぞれ対称にむすばれる。クビの部分にある剛毛(S)による情報も対称である、そこでカマをまっすぐ前にふってハエをとらえる。右側にハエのいるときは、両眼の情報は対称的であるが、剛毛の情報は右の方が優勢であってカマはこの刺激の差に対応するだけ右側にむけられ

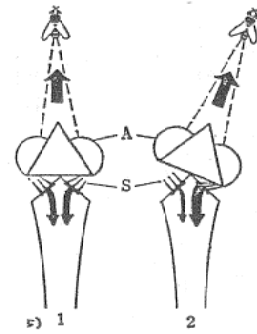


図6 頸部器官作用方式
A: 眼球 S: 頸部器官の感覚剛毛(剛毛楔状組織)

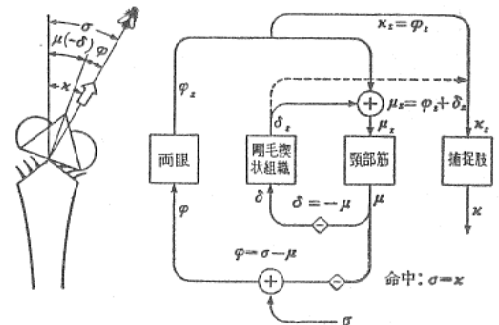


図7 二つの動作構造(剛毛楔状体の制御要素は制御回路中にある制御回路を閉じる)

ハエをとらえる。この機構は図7のようになる。この例で昆虫などにおいてもかなり複雑なフィードバックによって制御が行なわれていることがわかるであろう。

生体の運動機能の基本的役割を演じているのが筋肉であり、なかでも骨と骨と、間に張られて四肢を操作する骨格筋の機構は興味深いものである。図8のようにバネ

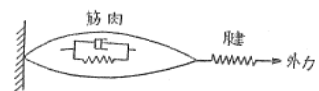


図8 筋収縮のモデル

とダンピングであらわされる簡単な筋肉のモデルについて考えよう⁶⁾。生理学的事実として、骨格筋は筋線維の束からなり、その末端は腱となって骨についている。筋に発生した伸びと張力の受容器としては、長さの検出に当る筋紡錘と張力の検出にあたる腱器官があり、それぞれインパルスを求心神経線維を通じて、脊髓にあるα細胞に伝え、中枢にゆく。中枢からの命令はα細胞から遠心性神経線維を通じて筋に伝えられ、収縮が行なわれる。これに付加的にγ神経線維を通じて筋紡錘の検出感度を変えている。これらのことを示すブロック線図は図9で示す。このモデルで筋にかかる張力を一定に保ち、γ線維をステップ状に100%で刺激したときの紡錘発射の生理実験(破線)とシュミレーションの結果は図10のよう

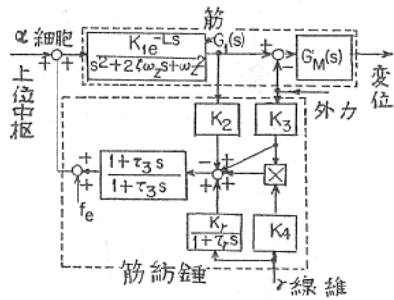


図9 骨格筋の制御機構のブロック線図

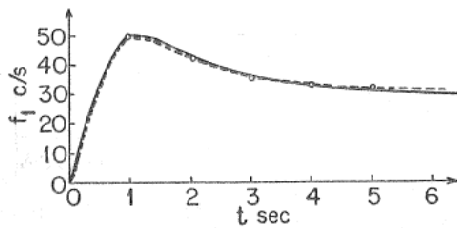


図10 γ 線維をステップ状 (100c/s) に刺激したときの紡錘発射

によく一致したという。この他には眼球、瞳孔の運動などのモデルも研究されている。

5 ロボット

いままでのべてきたモデルは、いずれもある程度生理学的な事実にもとづく機能のモデル化であったが、もっとモデル化の階層を高くとれば、行動そのものが似ているだけといわれるモデルがつくられる。これが人工の手や人工の足、あるいは機械の声などである。しかし、生物はある系統を通じて次第に進化して来たのであって、その拘束のために、完全な自由度をもってはいないが機械においては、種々の機構が考えられるから、自由度を増すことができる。ロボットとは高レベルの人間の機能モデルに必要な自由度を与えたものである。東工大の森政弘教授²⁾はロボットの具体的条件として、

移動性、個性性、知能性、汎用性、自動性、奴隷性をあげている。しかしこのどれに重きを置くかについては考える立場によって異なることであろう。

今日工業界は大変な労働力不足であり、省力化がしきりにさげばれている。プラント工業においては十年以上前からオートメーション化が実現され、少数のオペレータで、大きなプラントの運転がなされてきたし、大量生産工場でもコンベアシステムの自動組立てが行なわれている。しかし多種少量生産の多い機械工業などでは自動化しにくい部分が多く残っており、こうした部分に工業用ロボットの活用される場所がある。工業用ロボットははじめ放射性物質を離れた位置で操作するマニピュレー

タからはじまった。しかしそれは必ず人間がそれを操作していたのであったが、次第にオートマニピュレータが開発されるようになって工業用ロボットといわれだした。現在良く知られているのはアメリカ AMF 社のパーサトラン (図11) と Unimate 社のユニメート (図12) である。パーサトランに例をとると、多くの工程ラインにす

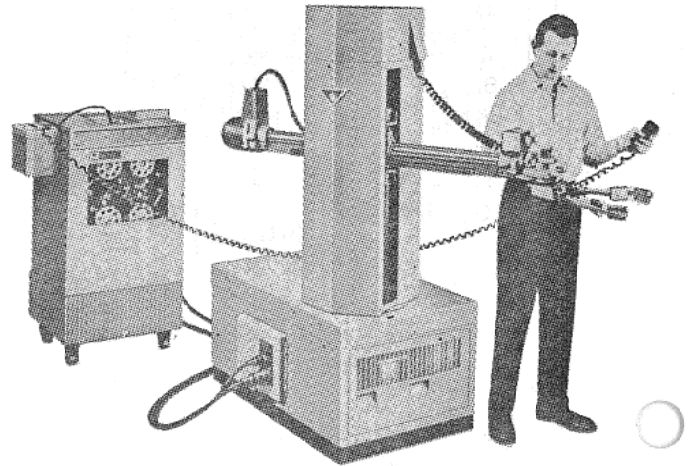


図11 パーサトラン (カタログより)

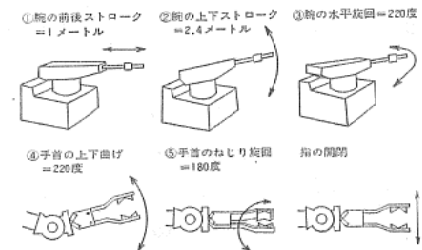


図12 ユニメートの腕、手首の (5つの自由度) と指の動き (カタログより)

ぐに組み入れられるように設計されており、その腕は完全な連続経路 (Continuous Path) をとることができるし、点経路 (Point to Point) をとることができる。作業の方式は、パーサトランが簡単なプログラムと記憶装置をもっているのだから、人間が機械の腕をとって目的の動作を教えると、2倍の速度でこれをくり返すことができる。作業が変わったときにはふたたび教えなおして新しい作業をさせることができるものである。

さらに最近工業用ロボットに目をつける技術の開発が活発化して来た。この目はレンズの裏側にフォトセルを組込んでこの目を左右に走査させて物体をとらえる。こうするとかならずしも等間隔で品物がコンベアを流れて来なくても作業ができることになる。

以上のように工業用ロボットは今のところは手だけの機能をもっているだけで移動性はない。我々がもっと本来的なロボットを必要とするのは海洋開発や宇宙探検用のロボットであり、人間のゆけない場所に出かけて、人間

同様の作業や調査をしなければならないので移動性や知能性が重要となる。

6 人間—機械—環境系

我々の生活している場を考えてみるために、たとえば夜のハイウエーを自動車で走っているときを考えてみる、我々は機械と一緒に走っている。我々が自動車の運転（制御）をするのがどれほど巧みか、障害物を見つけたとき、ハンドルを切るまでにどれほどの遅れを生ずるか、また自動車の計器は見やすい位置にあり、正確に読みやすくできているか、道路照明は見通しをよくしているか、これらのことを考えるならば、人間、機械、環境は一つのシステムとして考えられなくてはならないのは明らかであろう。こうした考えから人間工学、機械工学、環境工学の境界領域が浮びあてて来る。

生体モデルとしてとらえられるのはこの場合機械操作の制御器としての人間の動特性である⁹⁾。人間の制御動作を測定するために、自動車の走行状態を実験室内で電子計算機などを用いた各種の模擬装置によってシュミレートしている。飛行機の着陸シュミレータなどは非常に精密なものがある。また基本的動作を測定するために、評価をあらかじめ知らせておいた被実験者にブラウン管上の輝点をなるべく評価が小さくなるように追跡させる実験も行なわれている。こうした実験によって、人間の動作は結局多くの場合、ムダ時間を伴った PID 動作であることがわかってきた。

一方最近の公害問題に対して考えられる環境システムのモデル化は、非常に大きなシステムとなり、生体といっても、生物群の食物連鎖とか、場としても河川、海洋などが考えられ、時間の分割も年を単位とする長期のものになるが、我々が現在この面での予測を持っていないことから考えるとモデル化が急がれる。

7 生体と最適理論⁹⁾

最適ということはシステムが方向づけられた場にあるかぎりかならず起ることである。生物そのものは生存率最大という場にいるのであろうが、各部機能はサブシステムとして、種々のサブ評価をもつことになる。こうした各機能の最適構造を調べることは、生体システム論としても興味深いことであるし、人工臓器の設計、工学への応用も考えられる。

図13に示すような、与えられた3つの端点 T_0, T_1, T_2 をもちY点で分岐する血管を考える。図において、 r は半径、 l は長さ、 f は血流量とし、 p は圧力降下とする。添字は本枝を0、子枝を1、2とする。

Poiseuille の法則から圧力降下は

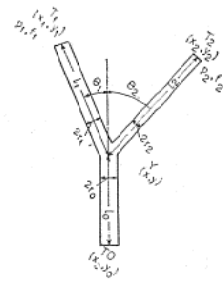


図13 2 端点分岐の説明

$$p_i = K \frac{f_i l_i}{r_i^4} \quad (i=0, 1, 2) \quad (1)$$

($K=8\eta/\pi$ η : 血液の粘性率)

また管長と座標との関係として

$$l_i^2 = (x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 \quad (i=0, 1, 2) \quad (2)$$

であり、流量の関係から

$$f_0 = f_1 + f_2 \quad (3)$$

である。

いま、全圧力降下、

$$P_1 = p_0 + p_1, \quad P_2 = p_0 + p_2 \quad (4)$$

と、 f_1, f_2 が与えられたとき、血管の容積

$$V = \pi(r_0^2 l_0 + r_1^2 l_1 + r_2^2 l_2) \quad (5)$$

を最小にする x, y, r_0, r_1, r_2 を求める。ラグランジェの乗数を λ_1, λ_2 とすれば

$$F = \pi(r_0^2 l_0 + r_1^2 l_1 + r_2^2 l_2) + \lambda_1(p_0 + p_1 - P_1) + \lambda_2(p_0 + p_2 - P_2) \quad (6)$$

とおき、

$$\frac{\partial F}{\partial x} = \frac{\partial F}{\partial y} = \frac{\partial F}{\partial r_0} = \frac{\partial F}{\partial r_1} = \frac{\partial F}{\partial r_2} = 0$$

より、

$$\lambda_1 = \frac{\pi r_1^6}{2K f_1}, \quad \lambda_2 = \frac{\pi r_2^6}{2K f_2}, \quad \lambda_1 + \lambda_2 = \frac{\pi r_0^6}{2K f_0} \quad (7)$$

となる、故に

$$\frac{r_0^6}{f_0} = \frac{r_1^6}{f_1} + \frac{r_2^6}{f_2} \quad (8)$$

がえられ、さらに、

$$x = \frac{\sum_{i=0}^2 r_i^2 x_i / l_i}{\sum_{i=0}^2 r_i^2 / l_i}, \quad y = \frac{\sum_{i=0}^2 r_i^2 y_i / l_i}{\sum_{i=0}^2 r_i^2 / l_i} \quad (10)$$

が求められる。(1), (2), (4), (8), (10)は連立高次方程式に

なり解析的に求めることはできないが、適当な数値計算によって最適分岐点を求めらる。この解は実測された血管系についての統計と良くあう。

この計算によって血管系は必要な流量と圧力降下を保つという機能を果しながら、その大きさをできるだけ小さなものにおさえる構造になっていることがわかる。

8 おわりに

だいぶ雑然とした文章になってしまったが、類の概念による同一視ということによって、工学の手法が生体の機能の解明に役立ち、工学は多くの発想を生体の機能から得ていることを示したかったのである。この他にも、生物群のダイナミックス、経済サイバネティックスなど多くの興味ある問題がある。

以上のべたテーマはどれも各種の学問の境界領域に属し、各分野間の緊密な協力が大きな成果を上げるもので

ある。

引用文献

- 1) ウィーナー「サイバネティックス」第2版 岩波書店 池原ほか訳 1962.
- 2) 南雲仁一編「バイオニクス」情報科学講座B・9・1 共立出版 1966.
- 3) 北川敏男編「学習制御および学習制御機械」情報科学講座 E・17・4 共立出版 1966.
- 4) 川島美勝, 山本弘「人間の体温調節系モデル」第7回日本 ME 学会大会予稿集 pp.69A-69B. 1968.
- 5) ミッテルシュテット「生体における自動制御 I」井口ほか訳. pp. 101~108. 1963. コロイ社.
- 6) 藤井克彦, 「生体工学の一断面(1)」機械の研究, Vol. 19, No. 6, (1967), pp. 797~802.
- 7) 森 政弘, 「ロボットの基本思想と構想」計測と制御, Vol. 7, No. 12, (1968), pp. 35~44.
- 8) 井口雅一, 「人間-機械系」情報科学講座 B・9・2 (1970) 共立出版
- 9) 神谷暁, 戸川達男, 山本敦子「血管分岐系の最適構造」医用電子と生体工学 Vol. 8, No. , 2, (1970), pp. 8~13.

