

循環系の制御について

上田五雨*

循環の研究には、色々なアプローチがある。解剖学的にその形態を観察することが、出発となるが、その機能を調べるためには、生理学的でなければならないし、機能不全については病理学的に検討しなければならない。また、生化学的、薬理学的な面の検討も大きい領域である。しかし、これらの方法から一歩を踏み出して、現象の意味を解釈しようとする、物理学的な手法を取り入れることが必要となる。古典的な例としては、血流力学があげられる。その中でも最も基本的なものは、血液の流れとその駆動力と血流抵抗に関するポアジューの法則である。現在では、測定系の進歩に伴って、種々のデータが提供されている。そこで、理想流体の理論は現実的に複雑な系に適合するように、改変されつつある。

一方、循環系は、単純化して考えると、結局はポンプと導管と物質交換系からなっているので、心臓と動静脈と毛細血管系についての解析を行えば、大体の定量的な把握は可能となる。心臓の力学については、筋肉の仕事が血液の流れの動的なエネルギーに変換されて、酸素および各種物質の輸送と言う生理的な働きを行うことを理解しなければならない。ところで、それらは輸送されるのが目的では無く、毛細血管の所で交換され、細胞に到達して利用されることが目的であるので、透過性の問題も十分検討することが、現象の理解を深める上で、大切である。この方面はコンピュータの進歩により、かなり面倒な計算も可能となり、理論の検証が容易になりつつある。

また、循環系は生体の全ての細胞、組織を養う基礎のシステムであり、単なる物理的モデルとしてより、一層生体的な特徴を備えている。そのた

め、生体の示す適応と制御の特性を十分に備えている。環境の変化に対応して、生存に有利なように形態学的にも変化し、外界の変化に順応してその特性を制御し、生理機能を維持させる優れた系であることが、よく知られている。その結果、生体の内部の恒常性が保たれることは、周知の事実である。一例をあげると、指先を冷却すると、その温度は下がるだけでは無く、過度の冷却から組織の障害を防ぐため、動静脈吻合が開いて指の温度をあげるような反応が起こる。このように、行き過ぎを制止させるような舵取反応を、ウィナーはサイバネティクス(1948)と呼んで、生物学の分野の理解にもかなり貢献することとなった。このような概念はフランスのアンペールにより、1845年に既に用いられ、現在では、自動制御、適応制御などの概念で、工学や生理学、心理学その他の分野で発展しつつある。ただし、適応制御と言うのは時間的に変化する時変パラメーターを持つ制御系の制御に関する問題を取り扱う。これらの考え方の基礎には、フィードバック、フィードフォワードなどの概念がある。前者は割戻しとも訳されたことがあるが、英語のままと言われるのが一般的である。その意味は現象の設定値からのずれを検出して、正常化の力を加えることである。検出のための構造としては、圧受容器、化学受容器、血管内皮などが役割を分担している。

循環の問題に制御の考えを入れることは、循環調節の複雑な機構を、記述的な立場から説明的な立場に発展させることであり、定量的な測定の実に存在するシステム構造を認識することにつながる。システムの状態を完全に定義するためには、必要にして十分な状態変数を選んで、現象の入力側の変数と出力側の変数とを、マトリックス的に表現することが、よく行われている。

*信州大学心脈管病研究施設

循環生理における最適化制御の例は、色々な問題で見られるが、制御系ループが不完全になった場合には、異常な反応や振動現象が見られる。生

理現象と循環不全の現象を制御論の立場から見直すことは、従来ただ観察だけしていた事柄に新しい視点を与えることになるであろう。