

# 体育の教授学習のシステム化に 関する理論的考察II

広島大学 萩原 仁・新畑 茂 充  
佐藤 裕・森田 公 治  
松田 重 信

## はじめに

前報では体育の教授学習にかかわるシステム化の理論的研究の歴史的・社会的考察をおこなったが、今回はその各論ともいべき開放システム論の立場から検討することとする。

## 1. 閉鎖システムの位置づけ

古典物理学は閉鎖システム、すなわち、環境から孤立していると思われるシステムをもっぱらとり扱った例えば、物理化学では、多数の反応物質を混合した閉鎖容器のなかにおける反応、その速度、最後に成立する化学平衡などを問題にする。しかも、熱力学は明確にこの法則が閉鎖システムにしかあてはまらなないと断っている。とくに、この第2法則では、エントロピーといわれる或る種の量（エネルギーは熱と仕事に分離するが、エントロピーは仕事化する潜在勢力として仮説されている）が、最大値になるように増加しなければならないこと、また、最後に平衡状態になってその過程がやむのである。この第2法則はいろいろな仕方で定式化することができるが、その一つにエントロピーを確率のメディアとして閉鎖システムがもっとも確からしい、つまり、確率の高い分布状態に近づいていくことが示されている。このような最大エントロピーあるいは、もっとも確率の高い分布に向って進む傾向とは、最大の無秩序さへと進む傾向のことである。

ここでは前報でのべたようなシステム哲学もシステム工学もない。しかしながら、世界的に無秩序に進行している（例えば破局論）と考えている人もいる。ボールディングは「現代の危機と防衛」のなかで次のように述べている。われわれがどこへ行くべきかをみつけるのは、むずかしいことではない。増大するエントロピーと混沌のさなかで、困難はそこに通じる道がないということである。われわれはもっと希望をもって生きることへの道はつねに骨の折れることなのだというべきであろう。しかしながら、生命や生体は遺伝子が未定型の物体に、その典型的なものを発生せしめることを教えてくれたり、人間という生物がその想像力や経験その他のものを学ぶので、学習プロセスによって建設することができるのである。それ故、人類の未

来に対する希望は第一に人間の想像力に存在する。想像力は未知の形態を生み出すことができ、したがって以前に想像もされなかったような、可能な未来のイメージを生み出すことができる。第二に希望は学習プロセスに存在している。人間は可能な未来像を検定してきた先生たちの言葉を信じることによって可能な未来像が構築することができるといっている。

閉鎖的なシステム化は物理化学の一部の世界にみられるばかりでなく、社会科学でも、人文科学のなかでも開放システム論との対立関係、あるいは、人間の生き方にかかわって統一化への論議がなされている現状である。身近かなところでは教科教育のなかでも専門という用語で閉鎖システムの温存；また、逆に開放理論が討議されているのである。

## 2. 開放システムの特徴

閉鎖システムでは、最終の状態がかならず初期条件によって一義的にきめられてしまう。例えば、化学平衡における反応物質の最終濃度は、はじめの濃度に依存する。この無生物的自然と生物体と比べて、きわめて対照的にみえるのがケルビンの崩壊論とダーウィンの進化論の対立矛盾である。この点を少しくわしく述べると、熱力学の第2法則では、物理的自然のなかでものごとの一般的傾向は、無秩序が最大となり、差異は消失する状態へむかう。全エネルギーが崩壊してしまうと宇宙の最後の状況として熱死がおり、世界の過程がとまることになる。ところが、これと反対に生物の世界でみられることは、胚の発生でも、進化でもより高い秩序と異質性と組織化へむかう推移である。開放システムは環境との間で物質の交換をおこなっていて、入るものと出るものがあり、その物質成分を組み立てたり、破壊しているシステムである。

開放システムの反応速度論の展開は二つの根源から出発している。第一は生物体に関する生物物理学であり、第二は工業化学における発展である。工業化学は高い効率その他の特徴があるので、閉鎖した容器内の反応や回路ごとの混合方式とならんで連続反応システムをますます多く使うようになっていく。このように開放システムの熱力学理論は、いはゆる不可逆の熱力

学である。単純なものでさえ開放システムは著しく注意すべき特徴を示す。一定の条件下では、開放システムは時間に依存しない状態、いわゆる定常状態に達する。しかも、この定常状態は真の平衡からある距離のあるところで維持されるもので、この故にこそ仕事を行うことができるのである。生物システムの場合にも見られるとおり、それは平衡状態にあるシステムとは対照をなすものである。絶え間なしに不可逆な過程、代謝の自己制御や、ある成分が変化の中でも一定に維持されることの一般的な物質的基礎を示すことはできる。例えば、筋肉蛋白質は分解されて、アンモニア、窒素まで分解されることはなく、尿素・尿酸の段階で排泄され、消化・吸収における糖質は炭素・水素・酸素までは分解されずに、6炭糖の段階までしか分解されず、このまま吸収されてグリコーゲンとなり、これからエネルギーを出し、生体は仕事をするのである。

### 3. 開放システムとサイバネティックスの原理比較

そこで開放システムと定常状態およびフィードバック系を内包するホメオスタジス、旧くは、クロード・ベルナルのいう内的環境の恒常性の概念を比較考察することとする。開放システム・モデルの基礎は、その要素の動的な相互作用にある。サイバネティックスモデルの基礎はフィードバック・サイクルにある。例えば、前者は炭素ガスと水を葉緑素の光合成作用の模式図であり、後者は内分泌系における中枢と末梢の内分泌器官ならびに放出されたホルモン効用における中枢への帰還系の模式図である。フィードバック・サイクルは情報のフィードバックによって基準値を維持する。開放システムの理論は一般化された反応速度論と熱力学に依存しており、サイバネティックスの理論はフィードバックと情報に基礎を置く。ここで注目すべきことは、反応速度論および熱力学的形式の開放システム・モデルが情報について何も語らないのに対して、フィードバック・システムは熱力学および反応速度論的には閉じていて、代謝作用をうんぬんすることはない。

開放システムでは秩序の増加とエントロピーの減少が一定の制限下に熱力学的に可能である。その大きさを示す情報はシュレージンガーのいう負のエントロピーと同じ式で定義される。また、開放システムは「能動的」により高次のオーガニゼーションの状態に向っていくことがある。すなわち、システムの条件にしたがって、秩序の低い状態から高い状態に移っていく場合がある。運動学習やトレーニングの過程論は効果論をふくめてその典型的な例である。開放システム理論やフィードバック機構は、このような「学習」、「学習制御」によって、すなわち、システムに供給された

情報に反応して、より高次元のオーガニゼーションの状態に達することができる。

### 4. フィードバック調節理論の検討

一般的に知られているように、フィードバック調節の基本的モデルは循環過程であって、出力の一部が、反応の予備の結果についての情報として入力にもどされる。多くの場合、負の帰還信号として負のダイヤルゲージにスイッチされ、正の信号として操作・制御系にくり入れられる模式図で示されている。そこで、システムは自己制御作用をもつものとなる。例えば、運動器官、効果器としての筋はその知覚末端器から力や位置の検知器を通して、また、別の回路では眼や耳による外部検知器を通して論理回路にはいり、そこから比較回路を経由して対象を制御する。いいかえれば、目標値への追求行動を連続する。これには単純な刺激反応形式もあるが、多くは系列的なフィードフォワード形式をたどる。したがって、外力自体が次の入力へ修正されて基準値との誤差を少くするようにはいりこむ。つまり、自己制御といっても、いくつかの変数を一定に保守するという意味のこともあり、これから望む目標に向けて舵をとっていく場合もある。さらに別の例をあげれば、恒温動物が体温その他のパラメータを恒常にするのは前者の例であり、随意運動のさいの自己受容性制御にみられる態様は後者の例である。

### 5. 生体と開放システム

フィードバック制御システムの重要な基準と思われるものは次の二つである。その一つはいわゆる構造に依存している場合であって、動的な性質をそなえた制御は力の自由な動きあいと成分間の相互作用の結果である。この場合、平衡、あるいは、定常状態へ向うことは別の結果を示す。その二はフィードバック・システム内の因果系列がリニアで、一方通行する場合である。フィードバックの基本的図式は古典的な刺激反応図式にフィードバック回路が付加されて、因果関係が環になっただけのことである。

典型的なフィードバック、あるいは、ホメオスタジス現象は、入ってくる情報に関しては開いているが、物質とエネルギーに関しては閉じている。それ故に情報理論の諸概念は開放システムの不可逆過程よりもむしろ「閉じた」熱力学に対応する。ところが、もしシステムが生物体のように自己組織的なものであれば、すなわち、高度の分化に向って進んでいくものであれば、不可逆な熱力学が前提とならなければならない。

フィードバック・システムと開放システムのながれ線図を比較すれば自らその相違が明らかである。すなわち、開放システムでの動力学とフィードバック機構とは二つの異なったモデル概念であって、それぞれに

適した範囲がある。開放システムのモデルは基本的に非機械論的であり、伝統的な熱力学概念を越えるばかりか、ただ単なる因果関係をも越えるものがある。サイバネティックスのアプローチは生物体の機械的モデルと一方向の因果関係と閉鎖システムを保持している。ここで新しいことは、とりわけ情報理論の導入である。したがって、この両者は「過程」(機能)と「構造」という対立を表現したにすぎない。これは結局なにか新しい統合のうちで弁証法的に解決されなければならぬものだろう。すなわち、われわれは体育の授業計画、実施、評価の結合概念、またトレーニング過程における運動結合の概念は、開放システム論とサイバネティカルアプローチをふまえて検証しつつある。

## 6. 学習と開放システム論

われわれは、ある一定の目標値に達すると、いっそう高次な到達目標をねらって努力する。これが外見にも、また、内面的にも目標値の変動ということになるが、われわれはこのことを階層的秩序にしたがった目標追求行動といている。この内容はランダのいうアルゴリズムにはほぼ一致していると考えてよい。

この階層的秩序にはさまざまな目標性があるので、まず目標性のいろいろな型について考察することとしたい。その一は静的目標論である。例えば、毛皮の服が体温を保つのに適しているように人間の脂肪の層も保温作用をもっている。これはある属性が一定の目標に役立つようにみえるとの意味である。その二は動的目標論である。これは過程の定方向性を意味するが、いくつかの異なった現象が区別できる。第一は最終状態に向かって進んでいく事象であって、現在のふるまいがあたかも最終状態に依存しているかのように表現できるものである。第二は方向性が構造に依存するもので、一定の構造をとることによってその過程が一定の結果を生みだすようになっているという意味である。このような秩序は、一種のカメラともいえる眼やポンプのような作用をする心臓などの巨視的な器官から、代謝、分泌、興奮、遺伝、その他にたずさわる微視的な細胞構造にいたるまでみられる。第三には生物学的調節にはもう一つ別の基礎があるということである。それは等結果性、すなわち、異なった初期条件と異なった手続きからも同一の最終状態に達しようということである。これは協応能試験器による追跡実験で脳波の変動を指標とした結果からいえる。すなわち、さまざまな凶型に対して、被験者はそれぞれ独自の変動様式を示しながらも、最終的には自動化現象を呈し、いわゆる皮質化現象並びに脊髄化現象を呈するという等結果であらわされる。つまり、予め決定された構造や機

構にもとづくのではなく、むしろ逆にそういう機構を排除するような調節作用を含む行動目標である。第4は、現時点のふるまいが到達点を見越すことによって決められるという意味での真の目的性、あるいは、目標指向性である。この考え方の前提をなしているものは将来の到達点ですでに予測されてあって現在の行動を指導するということである。心理学では見越し反応とよばれる類のものであり、カイヨワによれば、夢を現実化するものである。

本来人間はトータルシステムとして行動する。このようなさまざまな目標性は前述の階層的秩序にしたがって生長する。そこには目標に対する集中的行動が学習のプロセスとして存在するが、ここでは階層的秩序に限定してのべると次のようになる。すなわち、学習の一つ一つのレベルに対して、全体性と総和性、サブシステムの主働部分、前進的機械化、あるいは、前進的個体化、集中化、目標性等々がくり返しあてはめられる。このような階層的構造と結合によって、さらに高次元のシステムができることが全体としての「実在」の特性であり、これが生物学や心理学や社会学では根本的な重要性をもっている。ここで仮に体重を生長の一つの指標とすれば、これはエネルギーの合成→分解→合成という体重の構築材料における両者の過程の差とこの過程に影響を与えるさまざまな要因の和によって表現される。これが開放システムの本質であり、このこと自体に学習の過程並びに効果論がある。

## 7. 主な参考文献

- 1) 萩原 仁, 調枝孝治編, 人間の知覚運動行動, 不昧堂, (1975)
- 2) 萩原 仁, 調枝孝治編, 知覚運動行動のシステム分析, 不昧堂, (1976)
- 3) フォンベルタランフィ(長野他訳), 一般システム理論, みすず書房, (1973), 135-149
- 4) ボールディング(内田他訳), 紛争の一般理論ダイヤモンド社, (1974), 413-419