

## 評論 システム制御理論を応用した環境教育の体系化

藤平 和俊  
環境学研究所

### The Systematization of Environmental Education by Applying a Theory of System Control

Kazutoshi FUJIHIRA  
The Institute of Environmentalogy  
(受理日2003年9月26日)

#### 1 はじめに

環境教育の取り組みが次第に活発化してきた今日、環境教育の全体像を明確に示すことがますます求められている。このような現状を前に、本研究は、システム制御の理論を応用して環境教育の方法を系統立てて構築することを試みる。その手順は、まず、システム制御工学を用いて、人間活動を制御するための基本的な方法を概観した。次いで、この検討結果を基礎にして、環境教育の基本的な構成要素を示した。そのうえで最後に、環境教育プログラムの策定手順およびその継続的な刷新方法を提示した。

#### 2 構想・研究の経緯

筆者は、1999年に『「環境学」入門』という著書を出版した。その中で、「環境学」を「地球環境の有限性に立脚して、人間が、その活動を適正状態に制御することを目的として構築される学問体系」と定義した(藤平 1999)。ところで、「有限の地球内で人間活動を適正状態に制御する」という課題は、人間活動を1つのシステムと捉えれば、次のように理解できる。「人間活動」を制御対象とし、「適正状態にする」ことを制御目的としたシステム制御の問題とみなせる。それならば、システム制御工学という理論的に確立された学問を応用することで、環境問題を解決する方法を導けるの

ではないかという構想が浮かんだ。

そこで、この考え方の妥当性について、さまざまな文献を調べたり、専門の研究者に尋ねたりした。文献調査から判明したのは、システム制御工学は典型的な分野横断型の学問であり、機械工学や電気工学といった工学だけでなく、経済学や生物学、医学、農学など幅広い分野に应用されているという事実であった。環境関連でも、エアコンなどのエネルギー利用効率を向上させるインバータ制御、自動車エンジンの排気ガスから有害成分を除去する電子制御をはじめ、技術的改善にはすでに盛んに利用されていた。さらに今後は、環境問題の総合的な解決にも、システム制御工学の応用が期待されていたのである。一方、システム制御工学の研究者を訪れての面談では、「人間活動を適正に制御する」という課題に応用することについて、その発想の妥当性をあらためて確認できた。加えて、制御方法を導くための基本的な手順についても、適切な指導を受けられたのである。

これらの成果に意を強くして、その後も筆者は、人間活動に起因する環境問題にシステム制御工学を応用する研究を精力的に続けた。その結果、問題の総合的解決に大きな成果を期待できる見通しとなったのである。

#### 3 システム制御工学

「システム制御工学」の環境問題への応用を考え

る前に、一般にはなじみの薄いこの学問について、簡単に要点を押さえておかなければならない。

### 3.1 制御とは

「制御」とは、何らかの意味で「動き」のある対象をある目標に向かって操作することである。したがって、制御がかかわる分野や対象は実に幅広い。「室内空気の温度を目標温度にする」、「銀行の貯金を目標金額にする」、「風車の羽の向きをつねに風向きに合わせる」、「人工衛星の姿勢を安定化させる」は、いずれも典型的な制御の例である。よって、「有限の地球内で人間活動を適正状態にする」こともまさに制御であり、システム制御工学の研究対象と考えると全く差し支えない。

### 3.2 制御系

具体的に「制御」を考えるためには、制御の対象物である「制御対象」と、制御を行う目的である「制御目的」を把握しなければならない。また、制御を行うからには、「制御量」すなわち制御したい量を特定する必要がある。「室内空気の温度を目標温度にする」という例ならば、「室内空気」が制御対象に、「温度」が制御量に、「室温を目標温度にする」が制御目的に、それぞれ相当する。なお、制御目的については、目標値に制御量を一致させることと並んで、制御対象の「安定化」も必須条件として重要である。もし制御対象が安定でなければ、これを安定にすることを第1に考える。また、目標値に制御量を一致させようとして、制御対象を不安定にしてしまっは意味がない。なお制御対象の安定化とは、上の例ならば、室温を大きく上下変動させずに落ち着かせることである。

一方、制御を行うには、制御のために制御対象に付加される要素である「制御器」が必要である。制御器は、制御則に基づいて制御対象を操作する。ここで「制御則」とは、制御器の中で用いられるように導かれる制御のための演算則のことである。「室内空気の温度を目標温度にする」ためにストーブを使うとするならば、目標温度を達成できるようなストーブの燃焼計画が制御則にあたり、計画に基づいて行われる実際の燃焼が制御器に相



図1 制御系の基本構造

当する。制御対象と制御器を組み合わせでできたシステム全体が「制御系」であり、図1はこの制御系を簡略化して描いたブロック線図である。

### 3.3 制御系の設計手順

システム制御工学では、制御系を設計する手順は定式化されている。図2はその標準的な手順であり、図中の番号は制御系設計の順序を示している。以下はその要点である。

#### ① 制御対象と制御目的の明示

制御対象は現実世界の中で与えられるものであり、一般的に複雑で混沌としている。図では、そのことを強調するために凹凸のある外形線で表現してある。

#### ② 詳細モデリング

制御系の設計は、制御対象と制御目的の理解から始まる。このうち制御対象の理解はモデリングと呼ばれ、これによって現実の制御対象をより単純な紙の上の世界(頭の中または計算機の中)に再現する。モデリングによって得られたモデルのうち、最初に求める詳細なものを詳細モデルと呼ぶ。

#### ③ 設計用モデリング

詳細モデルが得られると、次の段階ではその本質をつかみながら簡略化する。簡略化する理由は、複雑な詳細モデルから直接的に制御則を設計しようとすると、得られるモデルも複雑になりすぎる可能性が大きいからである。

#### ④ 制御則の設計

設計用モデルが得られると、これについて制御目的を反映させながら制御則を設計する。制御則の設計が終わると、得られた制御則と詳細モデルで制御系を構成し、種々の特性を評価する。

#### ⑤ 実現と実装

評価によって所望の結果が得られれば、いよいよ

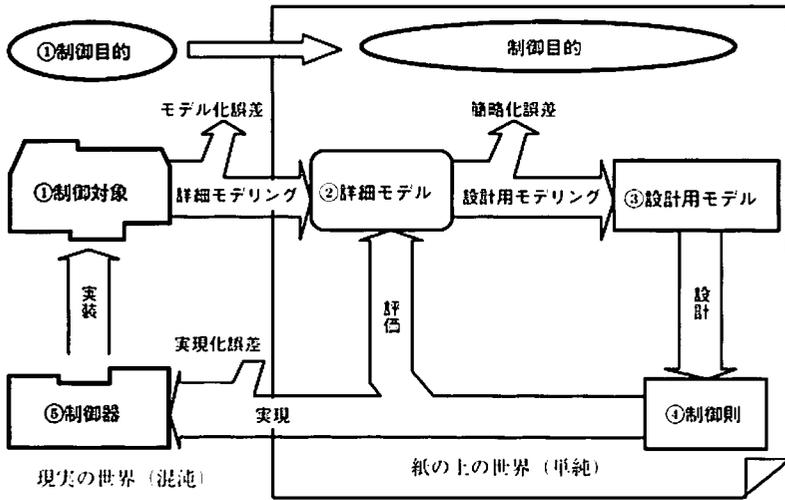


図2 制御系の設計手順 (大須賀・足立 1999)

よ次は、紙の上で設計された制御則を現実の世界に移す実現という作業に入る。最後に、実現された制御器と制御対象を組み合わせる。これを実装と呼ぶ。

#### 4 環境問題への適用

##### 4.1 制御対象

システム制御の考え方を人間活動に起因する環境問題に適用するとき、制御対象は人間活動になる。最小の単位は個人の活動、最大は人類全体の活動である。その間に、家庭、企業、自治体などを主体としたさまざまな活動を想定することができる。

##### 4.2 制御量

人間活動に係る変数のなかでも、環境とのかかわりにおいて制御すべき量が制御量となる。それらの中でも重要な要素として、「水」「食料」「製品」「エネルギー」「情報」「金銭」「土地利用」「人口」の8つを抽出した。選択に際しては、「『環境学』入門」第2章における整理を基礎に、その後の調査研究・議論を踏まえた。

「水」「食料」「製品」「エネルギー」については、人間は、自然や地球から資源を引き出して利用し、

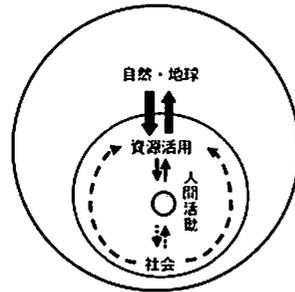


図3 制御対象となる人間活動と環境との関係

不要分は再び自然や地球に排出している(図3)。このうち製品は、衣類、機器、自動車、建築物、土木構造物など大小さまざまな原材料加工品のことである。「情報」と「金銭」は、注目する人間活動と社会環境との関係を考えるうえで重要である。人間は情報を介してコミュニケーションを行い、金銭を用いて商品やサービスや労働の価値を媒介する。「土地利用」は、人間活動を行う場所や地表面の利用方法、建設にかかわるキーワードである。「人口」は、人間活動を行う主体の数であり、人間活動を取りわけ定量的に理解するうえで重要である。

なお、人間活動にかかわる制御量をあらかじめ特定しておくことは、次のような点で有意義であ

る。第1は、制御対象である人間活動の全体を系統立ててバランスよく理解できることである。このことは、制御系の設計に際して的確なモデリングを可能にして、効果的な制御則を導くことを容易にする。第2は、制御目的の実現に向けて人間が考え行動すべきことについて、人々に共通の視点を提供できるということである。一口に人間活動といっても、その主体は個人や家庭、企業、自治体などさまざまであるが、これら規模や性質の異なる人間活動を制御する際に、人々に共通の観点があれば、各主体間のコミュニケーションは円滑になるであろう。その結果、問題の早期解決が期待できるのである。

#### 4.3 制御目的

制御目的は、人間活動全体をすみやかに「安定化」することを第1に考える。その理由は、今日の人間活動は環境との関係においてきわめて不安定だからである。ちなみに、人間活動の安定化は、地球環境時代のキーワードである「持続可能性」という概念に通ずる。

産業革命以降、人間活動は加速度的に増大し、地下資源の利用や土地開発も急速に進んだ。金属や化石燃料のような地下資源の大量利用は公害を頻発させ、無理な開発は洪水や土砂災害を引き起こした。さらに今後は、化石燃料の大量燃焼などによる地球温暖化が、広く人間社会に重大な悪影響を及ぼすものと危惧される。このような環境変化による不安定化と並んで、資源供給の面でも人間活動は不安定である。人口および人間活動の爆発的増加は、今後、水や食料、製品用原料、エネルギーの需給を逼迫させるであろう。このような事態に至れば、人間活動は急激に低下せざるをえない。

したがって、今日、不安定な人間活動を安定化することは人類共通の重要な目的となる。目的を達成するには、さまざまな人間活動に属する制御量を、人間活動全体の安定化を達成できるような目標値に向かって制御しなければならない。なお、制御量の目標値は個々の人間活動に応じて異なり、また時間の経過によっても変化するが、基本的な

方向は次のようになる。「水」「食料」「製品」「エネルギー」については、それぞれの地域で供給可能な資源を効率的に利用し、利用による人間および生態系への悪影響をできる限り減らす。製品原料やエネルギー資源については、金属や化石燃料など地下資源への依存を極力減らしつつ、再生可能資源の活用を図る。「人口」は、それぞれの地域の資源供給・活用にふさわしい規模を目指す。「土地利用」については、貴重な生態系の保全、各地域の資源供給に見合った開発や建設などが課題となる。また、上記のような変化を促すように、「情報」と「金銭」を適切に制御する。

#### 4.4 制御器

地球環境時代の人間活動にかかわる制御器としては、環境保全技術、環境関連の法律や条例、環境保全に配慮した税制や財政支出、その他さまざまな人間集団内でつくられる社会的仕組みやきまり、環境教育などが考えられる。

### 5 環境教育の基本要素

環境教育は、人間活動全体を安定化させるための制御器の1つである。ただし、これら制御器の中でも極めて重要な位置を占める。

環境保全型の技術や制度のような制御器を設計・実現・実装するのは、当然のことながら人間である。そのため、人間にはそのための高い能力が求められるが、この能力を高めるように人間に対して働きかけるのが環境教育なのである。したがって、環境教育とは、「人間活動全体を安定化させる」という制御目的について、制御系の設計能力を高めるように、さまざまな人間活動の主体に働

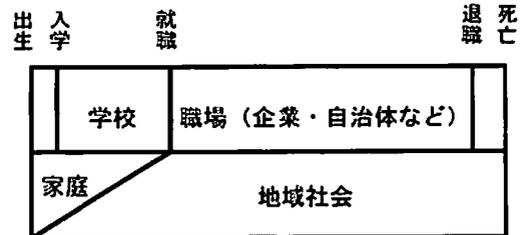


図4 環境教育を実践する場

きかけること」となる。よって、図4に示すような場で、この趣旨に沿った教育・学習が実践されることが求められる。

制御系の設計手順については、すでに図2に示した。この図は汎用性があり、制御対象を人間活動とし、制御目的を人間活動全体の安定化とした場合でも適用できる。よって、この課題についても、図2の手順に従って制御則を導けばよい。このように考えると、環境教育を構成する基本要素として、(1)制御対象と制御目的の把握、(2)目的達成の意欲醸成、(3)制御則の設計能力向上、(4)実現・実装能力向上、が重要なことがわかる。

### 5.1 制御対象と制御目的の把握

具体的に制御を考えるには、学習者が、制御対象と制御目的を的確に把握する必要がある。このうち制御対象は、人間活動である。たとえば、ある個人の活動、ある企業の活動などさまざまに想定できる。一方、制御目的は人間活動全体の安定化であるが、この究極の目的に向けて、より具体的な目標を制御対象ごとに設定しなければならない。目標設定に際しては、第4章で特定した制御量を捉り所として、対象となる人間活動とそれを取り巻く環境との関係を把握するとよい。個人や家庭の活動ならば、たとえば、「水」の使用にともなう河川や湖沼の汚染、使用済み「製品」による廃棄物の発生、化石燃料による「エネルギー」使用と地球温暖化との関係を理解する。そのうえで、自らの活動についての改善目標を導く。企業活動についても同様の方法で目標を定めるが、企業の場合は業態に応じて重視すべき制御量が異なる点に留意する。たとえば、製造業ならば「製品」や「エネルギー」、食品業ならば「食料」や「水」、金融・保険業ならば「金銭」、放送や出版業ならば「情報」が相対的に重要になる。行政の場合は、歳入・歳出構造の改善によって環境影響を小さくするという視点から「金銭」、行政区域内の開発や建設を適正に制御するという視点から「土地利用」といった制御量に注目することが欠かせない。よって、地域社会、企業、行政の環境教育では、学習者がこのような知識をわかりやすく得られる

ようにする。

一方、学校における環境教育では、上記のような実践的知識の基礎を身につけることが必要である。人間や人間活動について、人間活動の影響を受ける自然環境や地球環境について、環境問題を引き起こしている政治・経済・社会のあり方について、基本的な知識をわかりやすく伝えなければならない。なお、児童や生徒、学生も、すでに生活者や消費者として環境問題に直接的に関与しているので、個人の活動と環境とのかかわりについてはより実践的な知識を得られるようにする。

### 5.2 目的達成の意欲醸成

制御目的を達成するには、制御対象内の人間が目的を達成しようとする意欲をもつことが不可欠である。また、意欲は強いほど迅速な制御が期待できる。意欲を培うには、「危機感・責任感の喚起」と「公益と私益の両立性の指摘」という2つの手段が考えられる。

「危機感・責任感の喚起」は、環境配慮行動を動機づける要因として、環境問題の深刻さについての認知（危機感）や問題発生に自身が関与しているという認識（責任感）が指摘されている（依藤ほか 2002, 広瀬 1995）ことに由来する。危機感や責任感を喚起するには、問題の現状や因果関係についての知識に加えて、それらを实地に体験することが効果的だと考える。例としては、消費者が一般廃棄物の最終処分場を視察することや、製造企業の社員が自社の製品廃棄物の集積場や処分場を実際に見ることが考えられる。もっとも、实地には体験できないような問題も少なくない。通常の方法では、大気中の温室効果気体増加やオゾン層破壊は決して認識できないし、熱帯林破壊の現場へ出かけていくのも容易ではない。これらの問題については、衛星画像やビデオ映像などを活用することで、実感をもって把握できるようにする。

「公益と私益の両立性の指摘」は、環境保全という「公益」と快適性・利便性のような「私益」とが両立しないと認識されるとき環境配慮行動は阻害される、という社会心理学者の指摘（たとえば

広瀬 1995) と関係している。このことは、裏返せば、共益と私益が両立すると認識されれば環境配慮行動は促進されることを意味する。そこで環境教育の場では、共益と私益がしばしば一致することを学習者が理解できるようにする。消費者に対しては、たとえば、製品の買い替え時に省エネルギー型や長寿命型のような環境保全型商品を選ぶだけで、快適性や利便性を損なうことなく光熱費や製品購入費を減らせることを伝える。企業人に対しては、公害防止が自社の信頼を高めること、環境保全型商品を開発・提供することが市場競争力を高め利益につながるといったことを指摘する。

### 5.3 制御則の設計能力向上

目的を理解し、目的を達成しようとする意欲が生まれれば、続いては、目的を達成する方法を見出す能力が求められる。これは、制御系の設計手順(図2)に従えば、モデリングから制御則の設計・評価に至る過程について習熟する必要があることを意味する。習熟のためには、環境教育・学習の場でこれらの過程を実際に試みるようにする。

1つの例として、「家庭のエネルギー使用量を目標水準に制御する」という課題を考える。この場合、モデリングでは、使用している「エネルギー」を冷暖房や照明、情報通信、調理、移動などの用途別に分類してその使用量を把握する。次に、こうしてできたモデルについて、どうすれば目標を達成できるか検討する。具体的には、それぞれの学習者が課題を達成する方法を考えるとともに、検討に必要な情報があればこれを収集する。学習者同士で議論や意見交換をして、相互刺激的にさまざまな案を出すのもよい。自由奔放にアイデアを出し合うブレイン・ストーミングを活用するのも有効である。いずれにしても、既知の制御則に限定されることなく、より優れた制御則を探求するという姿勢が重要である。こうして制御則案が出されたあとは、その有効性を評価して案を絞り込む。ただし、1つだけに絞る必要はない。

上の例では「エネルギー」について考えたが、それ以外の制御量についても同様の検討を行うようにする。たとえば「水」ならば、調理や洗濯、

入浴、洗面などの水使用を見直して改善策を導く。「金銭」ならば、何を購入し、どこへ預金や投資をするのがよいか検討する。「情報」ならば、どこへどのような情報を発信するのが好ましいかを明らかにする。これらの過程で、8つの制御量は完全に独立しているのではなく、ある制御量を変化させることがしばしば他に影響を及ぼすことも理解できる。このように、自らがかわる活動を多方面から見直すことで、どうすればこれを最適な状態へ制御できるか体得できるようになるのである。

### 5.4 実現・実装能力向上

制御則の設計・評価が完了すれば、最終段階として、実現さらには実装を行う。現実の世界ならば、この段階は、自発的な環境保全型行動の実行、環境保全を促進するルールや制度づくり、環境保全型技術の開発や導入などを意味する。よって、環境教育・学習の場では、これら実践行動の試行や練習を行うようにする。

最も一般的なのは、制御則の設計過程に引き続いて、導いた制御則を実地に試みることである。試みることで、制御則の効果を確認できる。また、当初は予想していなかった障害や困難に直面し、その克服策や代替案についても考えることができる。

とりわけ学校では、可能な限り実践的な行動を試みるようにする。暖房温度を下げたり、使用していない部屋を消灯したりといった行動ならば教室でも実践できるし、クラスや学校でこのような行動を促すルールをつくることもできる。廃材を再利用する工作、食品廃棄物を利用した堆肥づくり、これを用いた植物の栽培を試みるのもよい。利害が絡んで容易には実現できない制御則については、対立の構図を仮想的に体験して合意形成の道を探るのも有意義である。たとえば、「家庭ゴミの収集を有料化する」「原子力発電所の新設を凍結する」「化石燃料への新たな課税を導入する」といった制御則について、賛成および反対の立場からディベートをしたり、関係者の代役を演じるロールプレイを行ったりすることが考えられる。

このような体験・疑似体験を積み重ねることで、現実世界に対応した行動力を身に付けられるのである。

## 6 環境教育プログラムの策定と刷新

### 6.1 環境教育の手順

環境教育の基本要素に続いては、教育プログラムをつくる準備段階から、策定、実施さらには改訂に至るまでの一連の流れ（図5参照）について考えてみたい。

#### ① 制御対象と環境との関係把握

プログラム作りは、制御対象となる人間活動とそれを取り巻く地球・自然・人工・社会環境との関係(図3)を把握することから始まる。その際、食料、製品、エネルギーをはじめとする8つの制御量を拠り所とする。なお、対象となる人間活動もその環境も時間とともに変化するため、プログラム策定者は、両者の関係を継続的に把握する必要がある。企業ならば、自社活動と環境との関係を環境報告書などに定期的にまとめておけば、これを活用できる。政府や自治体ならば、行政と環境との関係を系統立てて調べるといった作業を定期的実施する。地域社会で市民を対象に実施する場

合は、指導者側は、対象となる市民の活動と、地域の自然・人工・社会環境および地球環境との関係を把握しておく。

#### ② 具体的目標の明示

制御対象となる人間活動と環境との関係が明らかになれば、次は具体的な目標を定める。その方法は、基本的に人間活動全体の安定化を念頭に置いて、改善すべき制御量を適切に制御することを考える。また、もし改善すべき制御量の数が多い場合は、目標に優先順位をつける。たとえば「製品」と「エネルギー」に大きな問題を抱えている企業ならば、これらの改善を重点目標にするといった具合である。

#### ③ 環境教育プログラムの策定

目標が定めれば、目標にしたがって環境教育プログラムを作る。その基本的な要素については前章で述べたが、これを基礎にして対象者に応じたプログラムを策定する。企業ならば、新人、中堅、管理者などの階層ごとに、また営業や生産などの部門ごとにプログラムを考える。行政職員に対しても、階層別および部門別にプログラムを検討する。学校ならば、とくに年齢の違いに配慮し、年齢が下がるほど身近で具体的な内容とする。また、時間的あるいは金銭的な制約も考慮する必要がある。

#### ④ 環境教育の実施

策定したプログラムに基づいて、環境教育を実施する。企業や行政ならば、研修プログラムのなかで実践する。学校ならば、カリキュラムのなかで行う。

#### ⑤ 環境教育プログラムの評価・改善

環境教育を実施したら、その成果について必ず評価するようにする。実施中に学習者から得られる反応や実施後のアンケートを解析して、プログラムを改善する。また、環境教育が実際に適切な行動へとつながっているかどうかについても調査し、プログラムの見直しに役立てるようにする。テキストや教材についても、改良や補強をする。このような改善によってプログラムは洗練され、教育効果はさらに高まるのである。

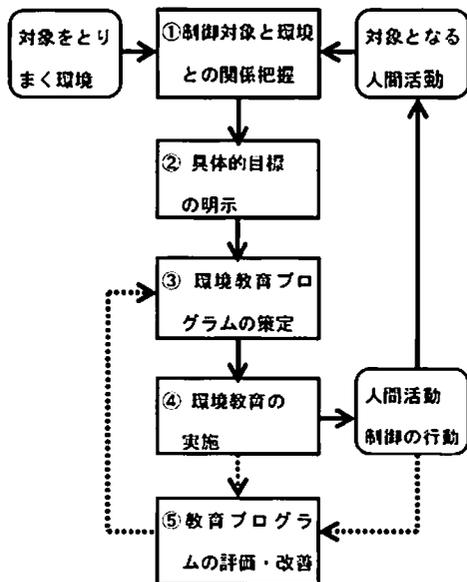


図5 環境教育プログラムの策定・刷新手順

### 6.2 上位制御としてのプログラム策定・刷新

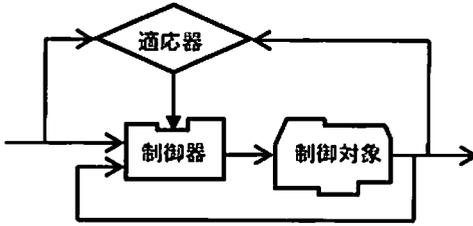


図6 適応器を備えた制御系

図5に示した環境教育の手順には、環境教育プログラムを見直す流れが2通り描かれている。1つは、対象となる人間活動と環境との関係のある程度の時間を置いて把握し、目標を見直してプログラムを改定していく経路（実線矢印）である。残る1つは、教育効果を評価し教育方法を見直すことで、プログラムを改善していく流れ（点線矢印）である。このような2通りの見直し経路を備えることで、環境教育プログラムは継続的に改善され、人間活動は適正状態に向かって制御されていくのである。

ところで、図5に示した一連の流れは、システム制御工学の応用という視点に立ち戻れば、やはり1つの制御器だと考えられる。ただし、個々の環境教育が通常の制御器として位置づけられるのに対して、環境教育刷新システムはこれよりも一段上位にあって、環境教育を支援する役割を果たしている。この上位制御器が、制御結果や環境変化に対応する調整機構であるところの「適応器」（図6）である。人間活動の制御は、制御系にこ

の適応器を備えることで、的確かつ円滑に進められる。

## 7 おわりに

以上、システム制御工学を応用して、さまざまな人間活動に適用できる環境教育の基本要素および教育プログラムの策定・刷新手順を考察した。これによって、従来は明確でなかった環境教育の方法の全体像を提示しえたと考えている。今後はさらに、企業を手始めに、本理論の実用化に向けてより詳細な検討を進めることを計画している。

## 謝辞

本稿を執筆するにあたり、システム制御工学およびその応用について、神戸大学工学部の大須賀公一教授にご助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

## 引用文献

- 藤平和俊, 1999, 「環境学」入門, 345pp, 日本経済新聞社.
- 広瀬幸雄, 1995, 環境と消費の社会心理学, 243pp, 名古屋大学出版会.
- 大須賀公一・足立修一, 1999, システム制御へのアプローチ, 177pp, コロナ社.
- 依藤佳世・広瀬幸雄, 2002, 子どものごみ減量行動を規定する要因について, 環境教育, 12(1): 26-36.