1. 概 説

NHK 放送科学基礎研究所 樋 渡 涓 二

1. ま え が き

まず言葉の問題から始めよう。モデル (model) とかシミュレーション (simulation) とかの語義であるが、手もとの Webster's New World Dictionary of the American Language という小辞典を開いてみると、

“model”: A small representation of a planned or existing object; A person or thing regarded as a standard of excellence to be imitated.

とあり、そのほか絵画や写真に使うモデルやファッションショーのモデルさんの意味もあるが、これは論外である。

“simulate”: to give a false appearance of—, to look or act like—

つまりモデルとは一言でいえば実物模型のことで、マネキンやプラモデルは正にモデルである。シミュレーションとは“みせかけ”、“ふり”のことで、ままごとや戦争ごっこは正にシミュレーションである。正式の定義として“シミュレーションとは、あるシステムのある種のふるまいを別のシステムの動作によって表すこと”であるとされている。モデルとシミュレーションの2つの言葉の間には大きい意味の違いはないが、モデルは模型そのものの実体をいい、シミュレーションは模型を作って何かをするという方法を指すとみればよいであろう。

自然科学の方では昔から模型とか模擬実験とかいわれ、正にモデルあるいはシミュレーションのことであるから、ことさらに説明を要しまいが、要するに一言でいえば“問題解決のための一手法”である。これが最近特に脚光を浴びてきたのは、デジタルコンピュータの出現によりシミュレーション技術が単に研究上の問題だけでなく、かなり大がかりな実際面にもいろいろと使われ出したためである。

さて、いかなる場合にモデルなりシミュレーション技術が有効かを考えてみると、

(1) 実験的な研究の過程で何らかの理由で実物で実

“1. General View of the Model and Simulation Technology” by Kenji Hiwatashi (NHK Broadcasting Science Research Laboratories, Tokyo)

験ができない、あるいは、できても部分的で全体の把握が困難、さらに実験はできても知りたいことが明確に出てこない場合。

実験ができない場合の中には、実験を行うには巨大な経費とか時間とか人手がかかる、実験を行っても再現性が悪い、実験を行うには道義的に無理がある、あるいは生命の危険がともなうなどという場合がある。

交通制御の問題などは実物で実験しにくいし、できてもほんの部分的にしかできない。人間の内部機能を解析しようとしても人間の生体実験ができない。飛行体の研究は実物では経費と時間がかかるので風洞実験で確かめるなど、すべてシミュレーション研究の対象になる。

(2) 理論的研究の過程で理論的に解けない場合、理論的検討の代行として使う場合、あるいは理論的解析結果の正否を確認したい場合。

問題が大規模あるいは複雑で数式に乗らないとか、数式に乗っても解くことができない、あるいは数式に乗せるために問題を抽象化・理想化することが困難な場合。

たとえば多くの非線形現象は数式に乗らなかったり、乗っても解けない場合が多い。ニュートンの運動方程式みたいに問題を抽象化できない場合も多い。

(3) 実際的な実務上の過程の中で、システムや機器の設計資料を得たい場合、システムや機器の動作をあらかじめ確認したい場合、動作中の実体の動作を観測したい場合、実物と同じ効果を与えるモデルで人間の教育・訓練をしたい場合、あるいは現状分析から将来を予測したい場合。

たとえばデバイスや回路の設計資料をコンピュータシミュレーションで求める CAD (computer aided design). 効率的な画像伝送方式を探索するのに、そのシステムを経由して再現されるであろう画像をあらかじめ確認するために画像シミュレーションを行う。またレーダーシミュレーターは、ある位置に存在する実目標からのレーダー受信信号と等価な信号を発生させる装置で、これによってレーダーの試験、レーダー情報を使う機器のテスト、人間が情報を迅速処理するための訓練に使われる。

フライトシミュレーターは飛行体の複雑な運動機能をシミュレートしたもので、飛行体の動作解析に用いられる。誘導ミサイル系のシミュレーターはフライトシミュレーターのような力学系シミュレーターのほかに、追尾系シミュレーターなど、すべて組合されたばう大な装置であり、誘導系のあらゆる面が模擬されている。

化学工業では化学プラントの設計を完了し、これのテスト用パイロットプラントを作って、その動作をあらかじめ確認する (computer plant simulation)。アポロ計画では月探用衛星の時々刻々の挙動を地上の画像シミュレーターを用いて観測した。飛行パイロットの訓練用シミュレーターを用いると、パイロットの初期訓練の危険を避けることができる。さらに現在までのデータから未来を予測する例としては、気象の予報から国内の経済変動の予測に至るいろいろな予測シミュレーションがある。

2. シミュレーション研究の一般的手法

モデルは前述の定義のとおり“実物”とは違う。しかしモデルは実物と何かが同じでなければならない。違うのは何か。まず形態—大きさ、重さ、形の複雑さなど—、構造—単純化、理想化されている—が違う。さらに材料が違う。同じなのは何か。それはある部分 (問題となっている部分) または全体の機能である。たとえばラウドスピーカーの等価回路は一種のシミュレーションであるが、機械音響系を電子回路におきかえ、その基本的機能を解析するものである。ここでわかることは、モデルは解くことができる、あるいは解く手法があらかじめ確立していることが必要である。

上述でわかるように“モデル化 (model building)”には、

- (1) 問題を単純化、理想化、定式化、抽象化できること。
- (2) モデルは実験または解析できること。モデルによる実験方法が確立されていること、あるいはモデルの機能が完全に観測できること。
- (3) モデルはその中味が透明 (構造がはっきりしている) で、モデル自体がなるべく複雑にならぬこと。

が必要である。

さて、シミュレーション研究の一般的な手続きはつぎの順序で行われる。すなわち、

- (1) 問題の設定: 解決すべき問題は何かを明確にする。
- (2) 実物のデータの収集と整理: モデル

の機能をできるだけ実物に近似させるためには、問題解決に必要な実物のデータを充分収集しておく。

- (3) モデルの構成: 問題解決に必要な部分のみを抽出してモデルを構成する。数学モデルやコンピューターシミュレーションのようなソフトモデル、電子回路その他のハードモデル、あるいは両者の混用を目的によって使い分ける。
- (4) モデルによる実験: モデルを使って模擬実験を行い、問題解決のためのデータを出す。
- (5) モデルのデータと実物のデータの照合: 質的な照合の場合と、量的な照合の場合とがある。
- (6) モデルの修正: 照合の結果一致度が悪い場合にはモデルが不適当だったわけであるから、モデルを修正する。以上をくり返す。
- (7) 解答を出す: 解答としては問題を解決することにつぎすが、出来上ったモデルそのものが実用上の目的の場合がある。

以上のプロセスを図示すれば図1のようである。

3. シミュレーションの種類

前述のように、モデルにはハードモデルとソフトモデルとがある。

- (1) ハードモデル (hard model) によるシミュレーション

実物と同じ機能をもつ回路や機器やシステムをハードウェアで作るものをいう。たとえば生物の神経線維はケーブルにないすぐれた情報伝送能力をもっているが、これを解析するために非線形能動素子 (エザキダイオード) を含む電子回路でシミュレートしたものを能動線路 (active line) といい、同時に新しいケーブルとしての実用化も不可能ではない。実物で実験するには経費と設備が巨大になるので、小型のモデルを実際に作って実験を行うものとしては、風洞実験や水槽実験がある。高空に

図1 シミュレーション研究の一般の手順

おける低気圧下、深海における高気圧下における人間機能の研究には、そのような環境シミュレーターが作られ、宇宙空間の無重力状態を作り出すのも同様である。衛星モデルの実験に使うソーラーシミュレーターも同様である。放送スタジオやオーディトリウムの音響設計には、実物の何 10 分の 1 かのスケールモデルが作られ、その中で音波を同じ割合で波長を短縮した超音波で音場の測定が行われている。

ハードモデルそのものが実用上の目的である場合の端的な例は、手足のモデルすなわち義手、義足であり、内臓のモデルすなわち人工臓器（人工心肺、人工腎など）である。人間の機能を代行する工業用ロボットや知能ロボットは、その中に人間の機能をシミュレートした部分が内在していれば人間のモデルであるといえよう。

(2) ソフトモデル (soft model) によるシミュレーション

数式とか等価回路、ブロック線図などを用いた特性の記述は、一般に数学モデルと呼ばれ、昔から科学研究の分野では広く用いられてきた。このようなモデルはソフトモデルであるが、今日ソフトモデルによるシミュレーションとして大きな役割を果たしているのは、何といてもコンピュータシミュレーションであろう。

コンピュータシミュレーションには、コンピュータの種類に対応して次の 3 つの方式がある。

(a) アナログコンピュータを用いるシミュレーション

(b) デジタルコンピュータを用いるシミュレーション

(c) アナログ・デジタル・ハイブリッド型のシミュレーション：入出力はアナログ型で行われ、処理はデジタル型で行われるもの。

4. コンピューターシミュレーション

(1) アナログコンピュータによるシミュレーション

アナログコンピュータ（以下、アナコン）は原則として常微分方程式を解く装置である。したがってアナコンによるシミュレーション方式は、常微分方程式やブロック線図などの形でシステムのモデル化ができるような、電気回路系、自動制御系、構造力学系などの工学的問題を解析する手法として広く用いられてきたが、最近ではデジタルコンピュータの機能向上により、さらに精度の高いアナログシミュレーションが可能となったため、やや利用範囲が狭められてきている。

しかし、アナコンは小型で安価であり、シミュレーションに用いる場合は実物との対応がつけ易く、時間的特性まで合わせてシミュレート（実時間演算）することも容易であるなど、デジタルコンピュータとは違った特長がある。図 2 は基本的な電気的要素と機械的要素のアナコンによるシミュレート法を示したもので、これらの要素の組合せで電気系や機械系のシミュレートが可能である。

たとえば図 3 に示した簡単な機械系のシミュレーションについて考えてみよう。図は質量の異なる 2 個の物体 M_1 と M_2 をバネでつなぎ、さらにダンパが設けられているシステムで、 M_1 に外力 F_1 が加えられた状態を

機 械 系			電 気 系		
要 素	関係式	アナコンの構成	要 素	関係式	アナコンの構成
質量 M 力 F 速度 V	$V = \frac{1}{M} F dt$		インダクタンス L 電圧 V 電流 I	$I = \frac{1}{L} V dt$	
バネ定数 K 力 F 速度 V	$F = K V dt$		コンデンサ C 電圧 V 電流 I	$V = \frac{1}{C} I dt$	
ダンパ 力 F 速度 V 速度係数 B	$F = B V$ $V = \frac{F}{B}$		抵抗 R 電圧 V 電流 I	$V = R I$ $I = \frac{V}{R}$

図 2 機械・電気要素のアナコン表示

図 3 簡単な機械系の問題

図 4 図 3 の問題のアナコン構成

示している。

M_1 に作用する力はこの外力 F_1 とバネから受ける力 F_2 との差、 $(F_1 - F_2)$ であり、物体 M_1 が動く速度を V_1 とすれば、

$$(F_1 - F_2) = M_1 \frac{dV}{dt}$$

$$\therefore V_1 = \frac{1}{M_1} \int (F_1 - F_2) dt$$

であるから M_1 の部分は図 4 のように積分器と $1/M$ なる倍率器によって表わされる。

次にバネの部分は V_1 と V_2 の差に相当する速度が加わるのでフックの法則により、

$$F_2 = K \int (V_1 - V_2) dt$$

で与えられる。また、ダンパは速度に比例した制動力を発生するものであるとすると、

$$F_3 = BV_2$$

となる。以上の関係から全システムとしては図 4 のような構成によってシミュレートすることができる。実際のシミュレーションでは、与えられた数値に対して適当な時間軸および変数の変換を行わなければならないのは微分方程式を直接解く場合と同じである。

(2) デジタルコンピュータによるシミュレーション

普通コンピュータシミュレーションといえばこれを指す位、最近きわめて進歩した。デジタルコンピュータはそれ特有のいろいろなシミュレーションの手法が開発され、応用範囲がきわめて広いことと、精度が高いことが第 1 の特長である。デジタルコンピュータの高速化、大型化は高速の繰返し演算を可能とし、大規模

なマトリクス計算を容易にした。これによって複雑なシステムのシミュレーションが効率的に行えるようになった。

設計、製造の分野では CAD (Computer Aided Design) や DA (Design Automation) と呼ばれる新しい技術を生み出した。電子工業、特に集積回路やコンピュータの設計、製造にはなくてはならない道具にまで進歩した。そして他の工業分野、自動車、航空機、造船、建築などのいろいろな分野においてもデジタルコンピュータシミュレーションを中心とした CAD や DA が研究され、実用化されている。

電子回路のシミュレーションプログラムは、デジタルコンピュータを利用したシミュレーション手法としては最も進歩したもののひとつである。この中にはアナログシミュレーション的な回路解析プログラムと論理シミュレーションプログラムがある。

汎用の回路解析プログラムは大規模な回路シミュレーション手法であり、米国における開発の模様を図 5 に示した。最近ではわが国を含めて世界各国においていろいろなプログラムが開発され、実用化されている。シミュレーションのシステムもバッチ処理、リモートバッチ処理およびオンライン処理システムがある。オンライン処理システムでは回路図と定数、解析条件などをグラフィックディスプレイターミナルから入力することにより、必要な波形応答その他の解析結果を短時間に知ることができる。

プログラムの基礎は手計算による回路解析の場合と同様に回路理論であるが、コンピュータによる回路シミュレーションでは、入力の回路図や回路図のデータをコンピュータ内で自動的に翻訳して、解析に必要な回路方程式は自動的に発生させる。このための手法としてグラフ理論の知識が大いに役立っている。

回路方程式はマトリクスによる数値計算法により必要な解が求められ、回路各部の電圧や電流、あるいは波形応答などが整理された形で出力されるように工夫されている。

コンピュータシミュレーションにはシステムシミュレーションと呼ばれる分野がある。この場合のシステムとは、多数の変動要素（入力の不確定性）が混在しているようなものまで含むもので、生産管理、在庫管理、物流システム、企業経営、社会問題などの複雑なシステムのシミュレーションを目指したものである。ここでも数学的モデルは重要な役割りを果たすが、決定論的な数学モデルの他に、確率論的な数学モデルが必要となってくる。

そしてシステムと環境という概念が 1 対として使われ

図 5 米国における CAD プログラム開発の流れ

るが、システムに含まれないすべてのものを環境と考
て取扱う。すなわち、システムと環境は集合と補集合の
関係にある。このようなランダムな要素を含む事象のシ
ミュレーション手法としてはモンテカルロ法が用いられ
ている。モンテカルロ法は事象の素過程を支配する確率

的な法則がわかっているとき、あるいは仮定できると
き、これらの素過程をあたかも実際に起きているかのよ
うにコンピューター内で乱数に対応させて発生し、組立
てることにより、システム全体のふるまいをシミュレー
トするものである。

図6 待ち合せモデル

システムシミュレーションにおいては、時間に対して非連続的（離散変化モデル）なものと連続的（連続変化モデル）なものがあるが、前者の代表的な例としては待ち合せモデルがある。図6に示したようなハイウエーの料金所システムなどもそのひとつであるが、スーパーマーケットのレジ、電話、物流システムなど、われわれの社会生活の中にはこのような例は数限りなくある。待ち合せモデルにおいてサービスを受けにやってくる人や物をトラフィックと呼び、その発生源を母集団と呼ぶ。そしてこのモデルは母集団、トラフィック、待ち行列、サービス設備の4つの要素からなる。

待ち合せモデルのコンピューターシミュレーションに適した言語のひとつに GPSS (General Purpose Simulation System) がある。GPSS は離散システムシミュレーターであり、世界で一番よく使われているシミュレーション言語のひとつである。これは 1960 年代の初めに IBM の Gordon らによってコンピューターシステムの待ち行列解析を行う目的で開発されたものであるが、現在では汎用化され、広く離散システムのシミュレーションに使われている。

GPSS には次の4つの基本的な機能がある。

- (i) 命令ブロックを用いてシステムのモデル化が比較的容易にできる。
- (ii) タイミングコントロールができる。
- (iii) 確率過程の処理ができる。
- (iv) プログラムデバック機能を持つ

GPSS における基本的なモデル構成としては、

- (i) トランザクション (transaction): 時間経過とともにシステムの中を動いていく対象をモデル化したもの。
- (ii) ストレージ (storage): 同時に複数個のトランザクションが使用できるサービス設備をモデル化したもの。
- (iii) ファシリティ (facility): 同時に単一のトランザクションのみが使用できるサービス設備をモデル化したもの。

があり、ブロック命令に対応して特有のブロックダイアグラムが準備されており、システムのモデルはこのプロ

図7 GPSS のブロックダイアグラムの例

ックダイアグラムを使って記述する。ブロックダイヤはトランザクションの流れを示すものと考えてよい。図7に GPSS の簡単なブロックダイアグラムの例を示した。

GPSS のブロック命令は、図7にもあるように標準化されたモデルに対応する、QUEUE、DEPART や頻度統計をとるための命令 TABULATE、トランザクションの通過時間をはかったり、流れの同期をとったりする命令 MARK、MATCH など離散システムのシミュレーションに必要な多くの命令が準備されていて、シミュレーションを容易なものとしている。

一方、連続システムを取扱うもののひとつにインダストリアルダイナミックス（またはシステムダイナミックス）がある。インダストリアルダイナミックスとは、企業組織を物、注文、金、人、資本設備、情報の6つの見地から分析し、企業組織を形成しているこれらの要因の相関モデルにより経営行為がどのような効果をあげるかをシミュレートするものである。このようなシミュレーションはその他の社会問題を含むいろいろな事象に応用できる。そして、このためのシミュレーション言語のひ

とつに DYNAMO (Dynamic models) がある。

5. 人間または生体機能のシミュレーション

人間を含め生物（生体）の機能の研究にシミュレーションの手法が有効で、最近その研究がかなり増えている。生命あるいは生体现象は複雑かつ非直線であり、適応制御的でもあり、数理解析が困難な部分が多く、生物系科学はほとんど実験科学であった。しかし各種のモデル研究によって、そのいわば理論的側面が開発されつつある。

生体のシミュレーション研究の目的には大きく分けて2つある。第1は“構成的方法”によって生体機能の解析を行うもので“合成による解析” (analysis by synthesis) の立場である。この研究が主として工学者によって行われている理由のひとつは、情報科学の問題を取扱うためである。この研究により生体機能のシステムの把握や推測が可能になり、またミクロな現象とマクロな機能との結合をある程度可能にする。

第2の立場は生体システムと同じような機能のものを人工的に作るという“解析による合成” (synthesis by analysis) の立場である。その目的は医学や工学における応用面での問題解決にある。たとえば入力刺激—感覚器—大脳—効果器—行動の主として神経系の情報処理機構のモデル研究は、文字・図形あるいは音声の合成、認識装置などを含むいわゆる“人工知能” (artificial intelligence) やロボットの開発につながり、骨格や内臓のは

図8 生体と機械をつなぐモデル研究

たらしきのモデル研究は、義手・義足あるいは人工臓器の開発につながる。

これらの生体機能のモデル研究の基礎には、生体系も機械系も通信と制御という観点から共通に論ずることができるというウィナーのサイバネティクス (Cybernetics) の思想がある。工学系で発達した通信と制御に関する概念、理論あるいは技術を生体解析に使うというのが第1の立場であり、従来の工学では問題が解決されない部分を生体の巧妙なからくりで真似ようというのが第2の立場である。つまり生体と機械とがモデルを介して図8のように連結される。生体のシミュレーション研究は生体工学 (biological engineering) の重要な一部である。

簡単な1, 2の例を示そう。人間の発声は図9(a)に示すように声門から咽頭腔を経て口腔・唇および鼻腔・鼻孔に至る音響管である。その音源は声帯振動（バズ音源）と声道の一部の急激な開閉（ヒス音源）であるが、そのあとのいろいろな動作で発声音になる。この簡単な等価回路は図9(b)のように示されるが、さらにアナロ

図9 発声器官 (a) と、その等価回路

図10 眼球運動の制御機構

表 1 生体の研究と生体工学の研究課題

		生 体 研 究	工 学 研 究
生 体 情 報 系	感 覚 情 報 系	I. 末梢神経系 ○眼光学系, 聴覚伝音系, 皮膚力学 ○受容器のメカニズム ○末梢神経系の時空間回路と心理物理現象 ○眼球制御系 (眼球運動, など) II. 大脳皮質神経系 ○視覚領, 聴覚領などの構造と特徴抽出機能 ○両眼視, 両耳聴の機能	○新しい光学器械, 計測器械の開発 ○画像工学, 音響工学への寄与 ○人工眼, 人工耳の開発 ○パターン (図形, 文字, 物体, 音声など) 認識における特徴抽出機構 ○ロボットの感覚系 ○水中レーダー, 方向探知補助機能装置 ○Blind Aid, Hearing Aid の開発
	中 枢 情 報 系	○大脳・小脳皮質の神経網構成様式 ○ニューロン回路網の一般的機能 ○条件反射, 学習, 記憶・連想記憶・認識などの高次心理現象のメカニズム (大脳モデル)	○新論理・機能素子 ○並列型計算機 ○パターン認識における認識機構 ○ロボットの頭脳, 人工知能一般 ○ティーチングマシン ○適応制御機器
	運 動 情 報 系	I. 発声のメカニズム II. 小脳運動制御系の分析 III. 手足の運動系 ○運動神経系の機序と骨格筋の制御 IV. 感覚入力に対する行動との関係	○人工音声装置 (合成音声) ○義手・義足 ○サイボーグ ○ロボットの運動系 (歩行, ハンドリング, 姿勢維持) ○人間工学への応用
	Ⅰ エ ネ ル ギ 変 換	○光受容, 音受容, 圧受容などの機序 (エネルギー変換) ○生物発光, 生物電池, 超音波発生の機序 ○筋収縮, 声帯の機序	○高能率, 高感度エネルギー変換デバイス ○生体内電池, 生体へのエネルギー供給 ○光, 電気, 放射線などの生体作用
生 体 制 御 系		○ホメオスタシスのメカニズム, 内分泌と代謝系の機能 ○循環系, 呼吸系, 消化器系, 排泄系などの機能 ○生物の群としての機能	○医用電子工学 (診断, 治療) ○人工臓器 (人工心, 人工胃等) ○適応制御呼吸装置 ○多段階制御, 適応制御, 冗長性制御
生 体 材 料		○生体膜, 筋, 皮膚の物理・化学 ○目の水晶体 ○骨格の物理・化学 ○ニューロンの生物物理	○人工筋などの材料開発 ○やわらかいレンズの開発 ○新しい高分子材料開発 ○高感度, 高密度メモリー材料
遺 伝 工 学		○遺伝のアルゴリズム ○自己増殖, 自己修復の機能 ○帰巢本能, 生体内時計のメカニズム	○遺伝子の制御 ○自己増殖, 自己修復する機械

グコンピュータでシミュレートできる。この研究は人工音声発生器の開発につながっている。

人間の目は眼球運動によってその注視点を移動しながら情報を大脳にはこぶ。この場合、普通は断続的な動きをし、停止時に情報を頭に入れるわけであるが、例外として静かに運動する物体を目で追うときのみ連続運動を行う。このような眼球運動は一種の自動制御機構であり、そのアナログモデルは図 10 に示される。これもアナコンでシミュレートでき、眼球運動の解析に有効である。

表 1 は生体システムの基礎研究を左欄に、またモデル研究を通じて工学応用につながると思われるものを右側に対称に示したものである。

6. テレビまたは画像技術におけるシミュレーションの利用

テレビや画像エレクトロニクスの分野でシミュレーション技術がいかに使われているだろうか。

(1) 方式決定のためのシステム評価

テレビの新しい伝送方式を開発する際に、その方式で得られるであろう最終的な受信画像を、シミュレーションによってあらかじめ評価を行う。たとえばテレビの帯域圧縮は視覚の性質を上手に利用することが決め手であり、圧縮によって生ずるひずみが目に知覚できないようにするわけであるから、受信画像を人間が主観的に評価しなければならない。この目的のために作られるのが“画像シミュレーター”である。最近特にテレビのフレーム内あるいはフレーム間の相関を利用した各種符号化方式 (たとえば DPCM, DM, 直交変換方式など) が開発されつつあり、シミュレーションが有力な手段となっている。図 11 は画像シミュレーターのごく原理的な説明図である。

また将来の新しいテレビ放送方式として、現行の標準方式の枠を離れて、ワイドでかつ高精度度の、いわゆる高品位テレビが研究されているが、その最適の方式を決定するだけのためにいちいちカメラから受像機までのハードウェアを開発するには時間と経費がかかる。そのため写真技術あるいはファクシミリ技術を利用して、画像

図 11 画像シミュレーターの一般形

をシミュレートし、たとえば走査線数と画質の関係などを研究するのは、やはり一種のシミュレーションである。

(2) サービス改善のために

テレビ放送の受信画質を維持改善するための研究手段として、いろいろシミュレーション技術が部分的に使われている。伝送系に生ずるひずみや雑音の解析と評価には、実際に生ずるひずみや雑音を発生する擬似回路を作って実験を行うとか、都市内の建築物の形状とゴースト障害との関係をコンピューターでシミュレートするなどがその例である。一方、テレビの普及率の予測とか、部品の信頼度向上のため、OR手法を用いたシミュレーションが使われる。

(3) 映像デバイスやテレビ機器の解析手段として

映像管や送信管など真空電子デバイスの研究では、管内の電子流の軌道を詳細に研究する必要があるが、レンズの解析に光のパスをコンピューターで計算すると同様に、あらかじめ管の形状あるいは電極構造および、それに与えられる電圧を指定し、その中で電子流のふるまいを計算機でシミュレートする。

映像回路の設計には、回路形式と能動素子のパラメーターを与えて回路の動作を計算機でシミュレートして最適設計値を求めること (CAD) が行われている。この場合、コンピューターなどと違ってアナログ回路であることが特徴である。

(5) テレビ技術を用いた visual simulator

テレビあるいは画像技術をシミュレーターに利用するという問題がある。たとえばフライトシミュレーターでパイロットの訓練をする場合に、パイロットの視野に実際と同様のシーン（たとえば飛行場の滑走路）を見せなければならないが、テレビを用いてこれを実現する。この種のものを visual simulator という。図 12 は簡単な原理図を示したものである。

図 12 ビジュアルシミュレーター

シミュレーションで実際の状態を視覚的にとらえ、設計の修正や各種の制御を行うことはしばしば用いられる。自動車のスタイルの設計やアポロの月面着陸のテレビ中継に使われたもの、さらに選挙の投票予測のコンピューターグラフィックスを用いた放送などがある。

7. む す び

シミュレーションの目的・手法およびその適用例を平易に紹介した。いまやこの手法は科学・技術のあらゆる面で活躍し、特にディジタルコンピューターの出現は、研究のためでなく、工場における企画、設計、生産、管理、機器の監視や制御、人間の教育訓練など、あらゆる実務において使用されるようになってきた。したがって、これを概括的に述べることは不可能に近く、また筆者の能力を超えた問題でもある。

以下、本特集には、そのいろいろな利用について述べられているので、具体的な内容についてはそれぞれの項を参照していただきたい。

最後に、この小論を執筆するにあたり、コンピューターシミュレーションの部分についてNHK技研 和久井孝太郎氏に多大の援助をいただいたのでお礼を申し上げる次第である。