

# システムダイナミックスと大学モデル

椎塚 久雄

## 1. はじめに

システムダイナミックス(System Dynamics)は、社会システムに内在している非線形な振舞いを解明する1つの手段として、1958年 MIT の Forrester によって導入されたものである[1]。その後、多くの人々の手によって種々のモデルが考案され、現在その適用範囲は社会システム全般を扱うようになってきている。また、システムダイナミックス法によって構築したモデルをコンピュータに理解させるためのシミュレーション言語として、DYNAMOが普及しているが、本来システムダイナミックスはコンピュータ言語を選ばない方法論である。本稿でも具体的なシミュレーションはパソコン上の BASIC を用いて行なった。

システムダイナミックスの応用事例の成果を一覧するには Lebel の論文[7]に参考文献として掲げてある詳細なリストが便利である。

ところで、文献[7]によれば、教育関係にシステムダイナミックスを適用した事例は70件余り数えられるが、その中でも本稿の主題である“大学モデル”に関するものは、島田[2,3]の論文が唯一のものである。現在まで大学モデルに関する応用事例はいくつか発表されているが、その数はきわめて少ない[4]—[8]。このことは、問題の特殊性

およびシステムとして把握することのむずかしさなどからきているものと思われる。したがって、このようなモデルの詳細を限られた紙面で議論することは到底できない。

本稿の目的は、架空の大学（以後この大学をR O大学と称する）を想定し、このR O大学が質的に発展していくためにはどのような要因が関係しているのかということをも定性的に把握するためのモデルの一例を構築し、具体的なシミュレーション結果を交えながら、システムダイナミックス法による大学モデルの一端を紹介することである。したがって、本稿の目的および紙数の関係から、本稿では構築したモデルの整合性については触れていない。

## 2. システムダイナミックスの基礎事項

システムダイナミックスの詳細な議論については他の文献（たとえば,[11],[12]）を参考にさせていただき、ここでは、そのいくつかの主要なポイントだけを述べておく。

システムダイナミックスは、システム構造およびシステムの動的振舞いの理論である。そこで、まずシステムダイナミックス法によって、コンピュータ・シミュレーションモデルを構築するための重要なポイントとして次の3つの側面を考えなければならない。すなわち、①因果関係の観点からシステムをとらえること、②システムの構成要素間を結ぶフィードバックに注意を傾けること、

③そのシステム内に含まれるシステム境界を決定すること、の3つである。

### 2.1 因果関係の抽出

因果関係の思索は、システムダイナミックスの研究において、そのモデルの着想をまとめるための重要な手がかりとなるものである。したがってシステムにおける因果関係の正確な抽出が正確なモデルの構築に直接影響してくる。典型的な方法として、システムの解析者は、コンピュータ・シミュレーションモデルを構築する前に、まず、鍵となる因果関係の要因をとり出し、それを図で表わすことから始まる。しかし、因果関係の概念はなかなかとらえにくい面があるので、その抽出には慎重な注意が必要とされている。

### 2.2 フィードバック

因果関係を抽出して、システムダイナミックスを用いた解析ができる形に問題を仕向けることは必要であるが、それだけでは十分ではない。なぜならば、因果関係の連鎖はしばしば閉じたループを形成するからである。これを因果関係ループとよぶ。システムの描写を明確にする1つの方法はこの因果関係ループに注目することである。因果関係ループ内での初期原因は、最後には、それ自身の間接的な結果になるまで因果関係の全体の連鎖の中を少しずつ変動する。フィードバックとは、初期原因がそれ自身に究極的に再影響するために、因果関係の連鎖の中で変動する過程のことを言う。

因果関係のフィードバックループを見分けて探し出すことは、システムダイナミックス法の重要な原理の1つである。制御の問題（たとえば、部屋の温度の制御など）について考えた場合、因果関係に影響を与える最も重要なものはこのフィードバックループの中に含まれている。また、社会や経済問題の分析で、フィードバックループに注目するとき、次の2つの重大な特徴があることに気がつく。すなわち、①システムの定義内に含まれる変数の数を扱いやすいレベルに大幅に減らす

ことができること、②扱っている問題に関して最も重要である変数に注意を集中することができること、の2つである。

### 2.3 システム境界

上で述べたように、フィードバック志向による考察は、システムモデルにおける諸要素間の関係をどのように表現したらよいかということを示す手助けになっている。しかし、正確なモデルを構築するためには、モデルのシステム境界を明確にすることがさらに要求されてくる。システムの境界とは、簡単に言うと、システムに何を含ませ何を含ませないのかということを決めるためにその二者のあいだに境界線を引くことである。システム境界を見分けるときの手間は、考察する問題のサイズ、範囲および特徴などによってその複雑さが左右される。

## 3. モデル構築の基本方針

大学モデルを構築するに当たっての基本方針としては、教育・研究機関の規模拡大をはかり、大学の質的要素を向上させると同時に、学生の望んでいる事柄を考慮した理想的大学をつくることである。そのためには、モデルとなるRO大学の現状を把握し、かつ大学を運営していくに当たっての諸問題を考慮しなければならない。

### 3.1 RO大学の現状

RO大学は創立20周年の歴史の浅い理工系の大学である。そこで、まずこの大学の現状の規模を調査したら以下のようなデータが得られた。

校地総面積	272.312m <sup>2</sup>
国庫助成金	12億4,100万円
学費	740,000円/年
学生数	5,308人
入学者数	1,218人
教員数（講師以上）	339人
助手数	47人
職員数	133人

### 3.2 大学運営の課題

大学運営の当面の課題として次の3つが考えられる。

(1) 進学率の低下：大学総数が年々増加しているにもかかわらず、大学への進学率が徐々に低下しており、特に、東京などの大都市での進学率の低下が目立っている。

(2) 18歳人口の減少：大学受験者数と直接関係する18歳人口は、1985年の18歳人口が丙午で156万人と減少した後に増加し、1992年には206万人になるが、これをピークに以降減少している。

(3) 助成金の減少：上で述べたとおり、大学数の増加、経常費の増加にもかかわらず国庫助成金は、1981年から赤字財政のため減少している。

さて、本稿のモデルであるRO大学は、知名度がない、大学に特徴がない、施設・設備が充実していない、学生募集戦術が下手であることなど不利な要因が多いと仮定して議論を進めてみよう。したがって、モデルではそのような不利な要因を改善していくと同時に、RO大学が都内に校舎のある都市型大学であること、教育・研究費が多いこと、教学権が確立して自由な雰囲気であること等の長所も積極的にアピールする必要がある。

### 3.3 大学モデルの基本構想

前述の大学の現状や諸問題を考慮したうえで、モデルであるRO大学が今後どのような過程で成長していくのか、システムダイナミクス法によって未来予測をしてみる。予測をする期間は、1992年に18歳人口が頂点に達し、それ以降は減少していることや、各データの信頼性の面からも誤差の多い長期的な予測よりも、中期的な予測として過去5年前から始めて15年間を予測実施期間とする。

モデル構築の前提となるものは、教育機関、研究機関としての大学の質的要素の向上である。そこで、モデルの基本構成としては、受験者数、教育体制、学生レベル、知名度、そして大学の社会的評価を構成要素の軸とする。ただし、教育体制とは、大学の施設・設備をはじめ教職員など大学

教育に必要なものを総合的に評価し金額に換算したものと定義する。

まず第1に、受験者数を増やし、その中からレベルの高い学生を獲得しなければならない。そのためには、知名度の向上、設備の充実、魅力の増大によって受験者の意思決定により影響を与えることが必要である。また、学費の大幅値上げは経済上の負担となるために、受験者の意思決定に悪い影響を与える。よって、これを避けた大学経営をしなければならない。

## 4. 因果関係ループの設定

ここでは、大学というシステムにおける原因・結果の連鎖、つまり因果関係を正確に導き出すことが重要になる。

まず、因果関係ループの軸になる受験者数と知名度の関係を主ループに、大学の質に関するループ、経営に関するループ、進級率に関するループ、およびクラブ活動に関するループをそれぞれ補助ループとして作り、これから大学モデルの全因果関係ループを作成する。一方、大学モデルは基本的には正の因果関係ループになるが、一般的におこりうる大学規模の減少の要因も含ませたいため負の因果関係ループも付け加える。

### 4.1 主因関係ループ

これは大学の質的向上をはかるための基本的なループとして考えるもので、知名度が上がると受験者数が増すということを主因果関係としてとり上げた正の因果関係ループである。本モデルでは量的要素の増大を抑えることにしているので、在学生数もある範囲内に固定されている。よって、受験者数が増えるとランク(大学の入試難易度)が上がり、より質の高い(真面目な)学生を入学させることができる。また質のよい学生に、より良い教育体制を整えることでレベルを上げ、結果的に受験者数を増やすという正の因果関係である。この主因果関係ループを図1に示す。図における矢印は影響を与える方向を示し、符号(正または負)

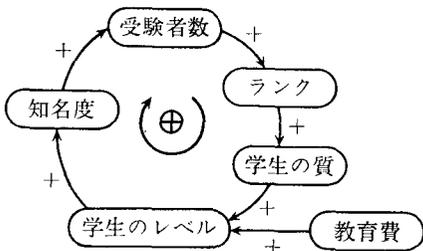


図 1 主因果関係ループ

は影響のタイプを表わしている。一般的には、ある1つの変数の変化が、他の変数の値について同方向（逆方向）の変化を生じさせるとすれば、そのときこの2変数間の関係は正（負）であるという。そして、この負の符号がループ内に偶数個（奇数個）存在すれば、ループは正（負）であるという。図1は明らかに正のフィードバックループである。

#### 4.2 大学の質に関する因果関係ループ

主ループを中心に、モデルの軸となる構成要素である社会的評価を加え、質的要素についての因果関係を表わしたものが、図2に示す大学の質に関する因果関係ループである。

学生レベルの向上に關した因果関係としては、次の3つの関係が考えられる。すなわち、

①主ループの因果関係、②教育体制が向上することによって教育・研究条件がよくなり学生レベルが向上するという因果関係、③学生レベル自体が向上することによって大学院生の勉強に対する熱意が高まり大学院生の質が良くなる。そして、大学院生の質に影響されて教授の研究意欲が高ま

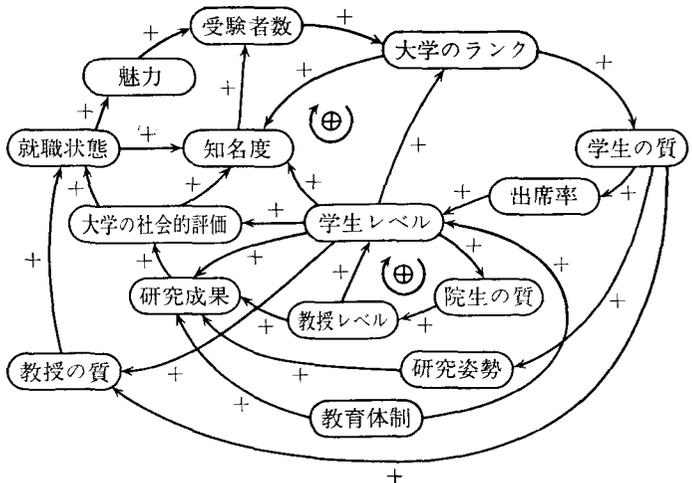


図 2 大学の質に関する因果関係ループ

り、教授レベルが上がると、教授に習う学生のレベルアップにつながるという因果関係、

の3つである。また、学生レベルに影響されるものに、知名度、社会的評価、研究成果がある。これらは学生レベルによって向上する正の因果関係である。社会的評価の向上は、就職状況（ここでは、一部上場企業への就職率を表わす）を向上させる。就職状況の向上が大学の魅力、知名度を上げ、受験者数を増大させる。この因果関係ループでは結局、受験者数を増大させる要因が、知名度、および就職状況であり、これらに強く影響を与えるのが学生レベル、大学の社会的評価である。

#### 4.3 大学の経営に関する因果関係ループ

大学モデルの経営に関する構成要素の中で最も重要なのは、学費と設備投資である。学費に関する因果関係について簡単に示したのが図3である。

受験者の増大がランクを上げ、学生のレベルを向上させる。そこで、レベルに見合った、またはさらにレベルを上げるための教育体制が必要になる。しかし、そのための教育費が増えると経営負担から学費が上昇してしまう。そうすると、家庭経済の負担から敬遠して、受験者が減少してしまう負の因果関係が存在し、また学費が上がると経

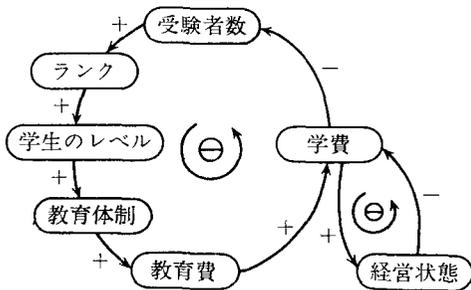


図 3 学費に関する因果関係ループ

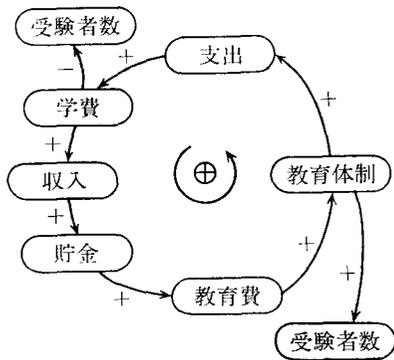


図 4 学費と教育体制に関する因果関係ループ

営状態が良くなり、経営状態が良くなると学費の値上がりを防いだり、値上げ幅を抑えることができるという負の因果関係ループも存在する。

#### 4.4 学費と教育体制の因果関係ループ

図4に示すように、学費が必要以上に上がると収入が増し貯金が増える。それによって、より良い教育体制を整えることができる。しかし教育体制が良くなるとその維持費が大きくなることや、さらに教育体制を向上させるためにはより多くの教育費が必要になるため支出が増大し、経営に負担がかかり、学費を上げなければならなくなるという正の因果関係ループが存在する。つまり、学費を上げれば教育体制が良くなり、教育体制が良くなると学費が上がってしまうわけである。しかし前述したように、学費は受験者数に対し負の因果関係、教育体制は受験者数に対して正の因果関係で、双方とも受験者数を決定する要因となっている。

#### 4.5 進級率に関する因果関係ループ

ここでいう進級率とは、4年次生の卒業論文への着手率である。この進級率に関する因果関係を図5に示す。進級率が低下すると留年生数が増え必然的に在學生数（特に3年生）が増えるため、教育状態が悪化し、学生レベルが低下してしまうという因果関係が存在する。

#### 4.6 クラブ活動に関する因果関係ループ

図6に示すループは、クラブ活動の向上が社会

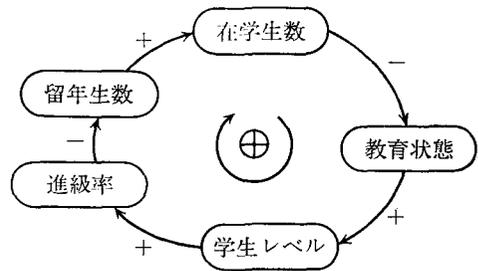


図 5 進級率に関する因果関係ループ

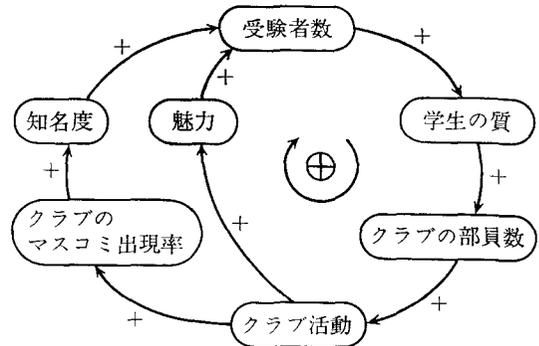


図 6 クラブ活動に関する因果関係ループ

や学生、さらには大学自体にどのような影響をおよぼすかについて考慮したものである。クラブ活動が活発化すると、これによって新聞・テレビ等マスコミにとり上げられる機会が増え、結果的に知名度が上がる。受験者の受験校決定の要因としてマスコミ等でとり上げられているかということは重要である。また、クラブ活動が活発化することが学生の望む学生生活を楽しむということの要因となり、大学の魅力が向上することになる。以上のような大学の知名度、魅力の向上が受験者数を増やすことにつながってくる。

#### 4.7 全因果関係ループ

図7には、主ループと4つの補助ループを結合した全因果関係ループを示す。受験者数が大学の発展に重要な影響を与える要因であると基本的に考え全因果関係ループを構築した。受験者数を左右する要因は知名度、魅力、学費である。知名度は就職状況、大学のランク、クラブ活動に、魅力は就職状況、教育体制、クラブ活動に、そして、

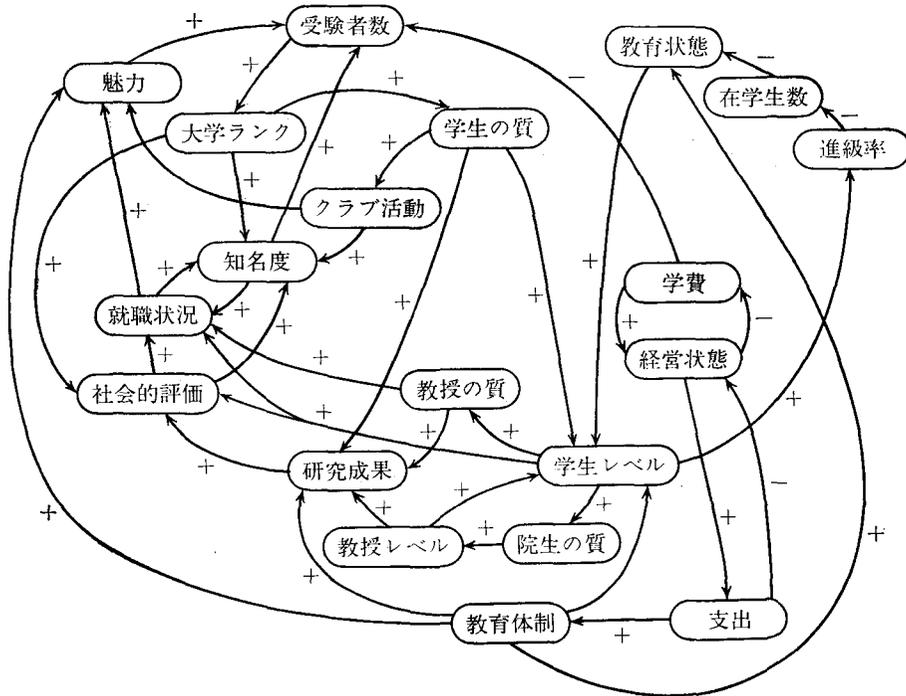


図 7 全因果関係ループ

学費は経営状態，教育体制にそれぞれ影響を受けている．ここで示したループは，主な因果関係だけを表わしたもので，貯金の構成など細部にある関係は省略してある．

### 5. フローダイアグラムの設定

今まで述べてきた因果関係ループをもとにして，システムダイナミクス特有のフローダイアグラムを設定する．方針としては，初めから全体の設定は困難かつ，誤りが多いので主ループを設定した後，質に関するループと経営に関するループについてそれぞれフロー・ダイアグラムを設定し，その後にこれをあわせた全フロー・ダイアグラムを設定する．

#### 5.1 モデルのねらい

本大学モデルは，受験者数の増大，経営状態による設備投資と学費の設定，大学の質的要素の向上を目的としている．そのためこのモデル内ではこれらの多重ループがダイナミックに相互作用し

ながら機能している．大学経営や人間性などの質に関する部分で理解しにくい大学発展システムを把握するために粗雑なモデルであるがシュミレーションし，その結果を分析，評価してみよう．また，本モデルには各種のパラメータが用いられているが，これらの値の大部分はRO大学の現実の値を用い，それ以外の値は推定値によるものであることを注意しておく．

#### 5.2 モデルの構造

本モデルでは，教育体制，知名度，学生レベル，および大学の社会的評価をレベル変数とした．また，特別なレベル変数（ボックス）として，在学学生数と貯金がある．在学学生数は，1年生数から4年生数がそれぞれの箱をもっていると考え，全体の大きな箱が在学学生数となる．一方，貯金はコンピュータ増設用貯金，研究費増加用貯金，教員数増員用貯金，宣伝費増加用貯金，新校舎建設用貯金からなっている．このようなレベル変数を決定してゆくための補助変数を設定し，初期値やパラ

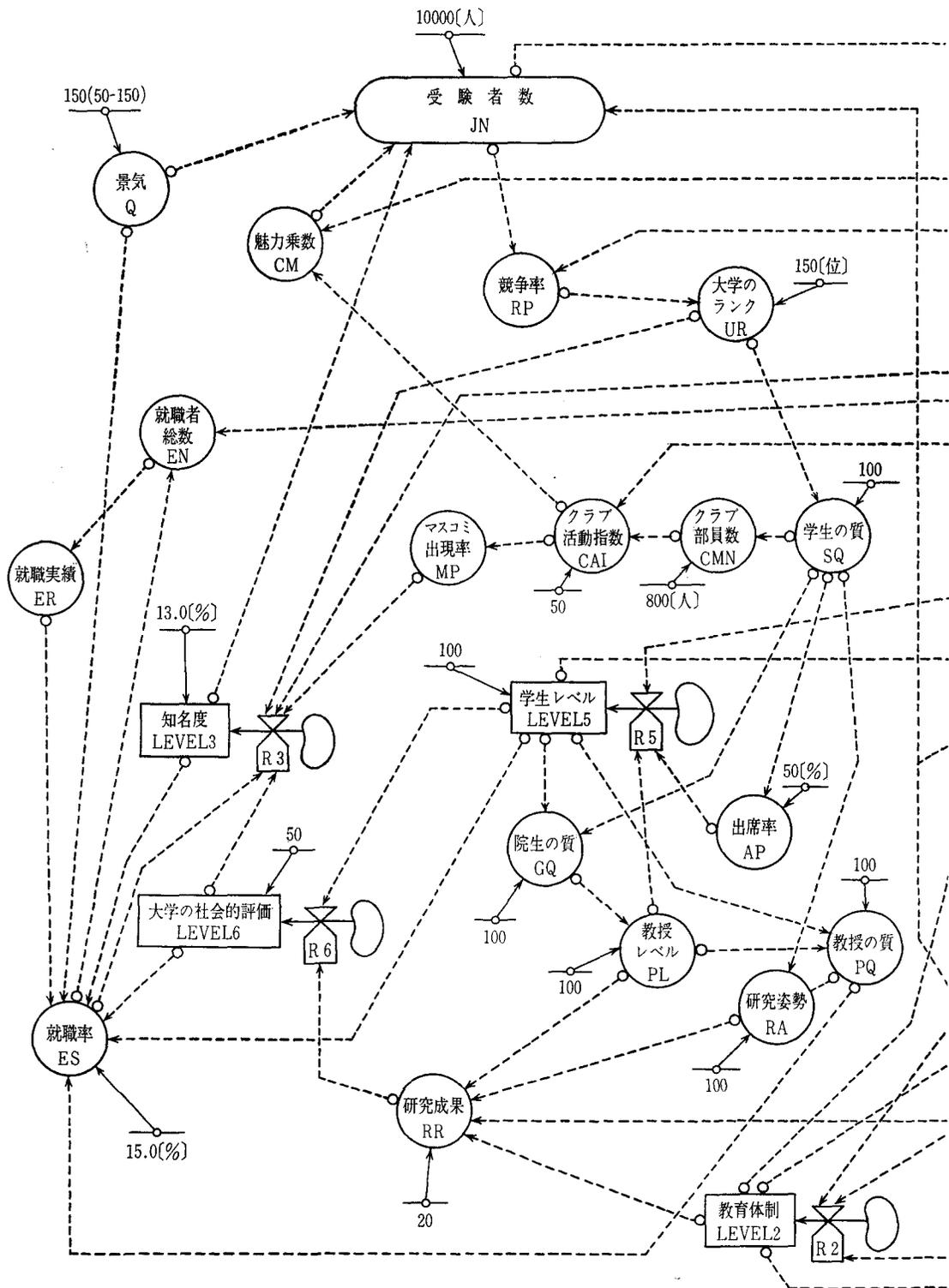
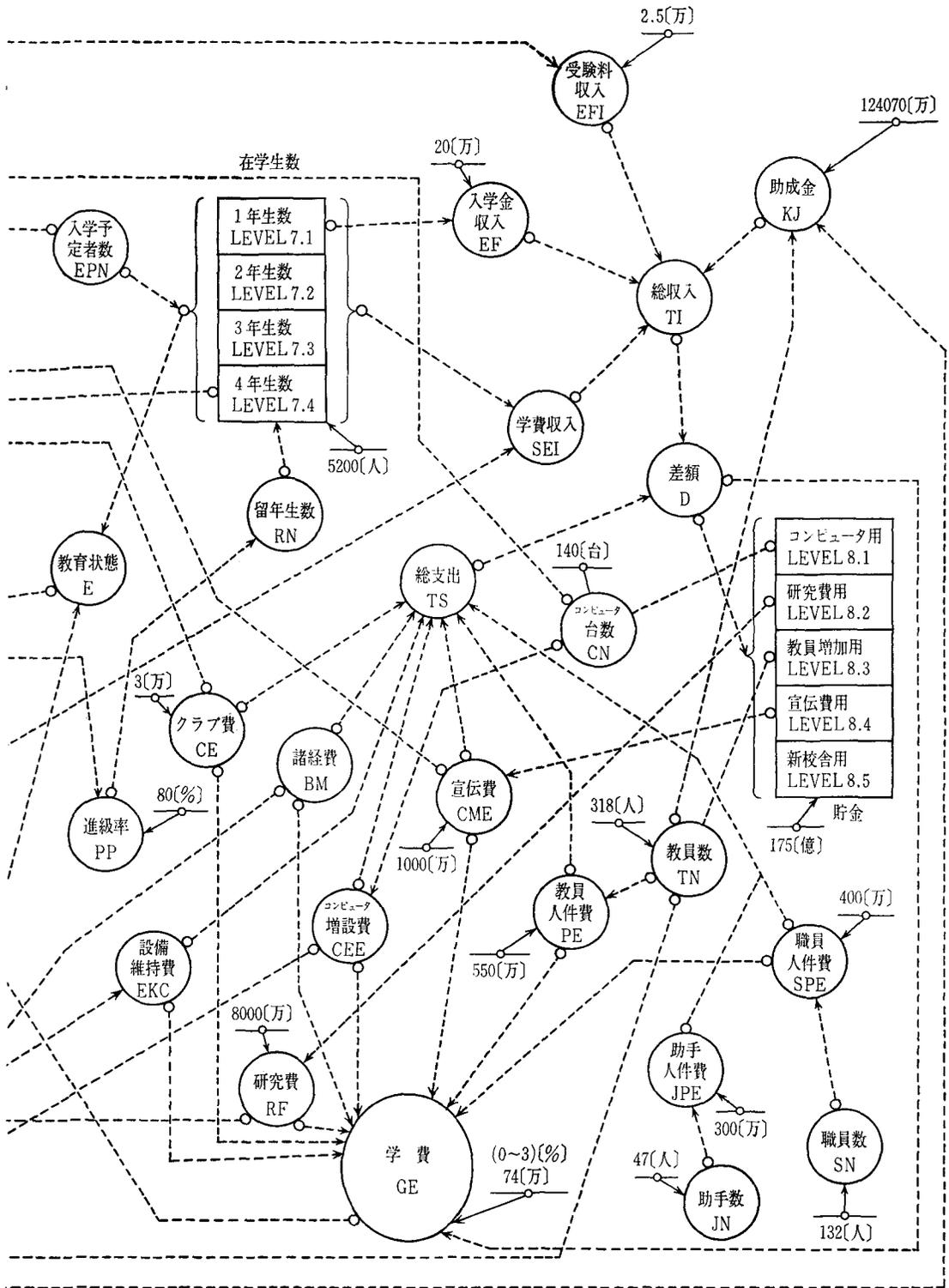
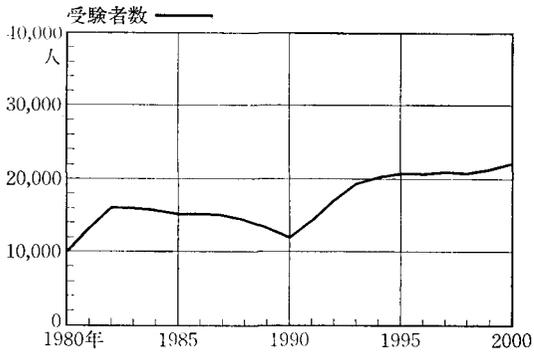
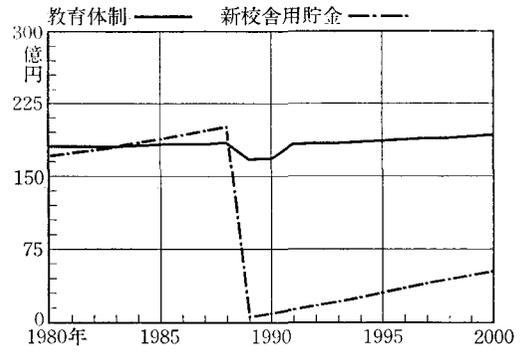


図 8 大学モデルのフローダイアグラム

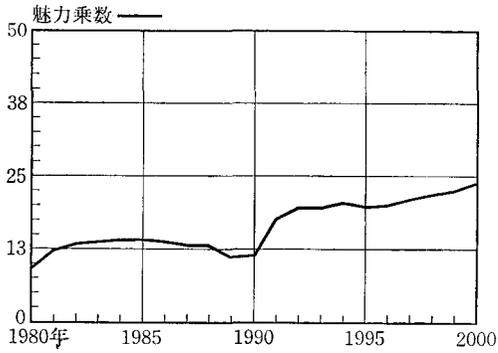




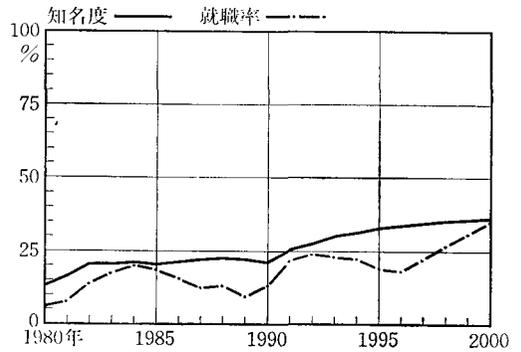
(a)



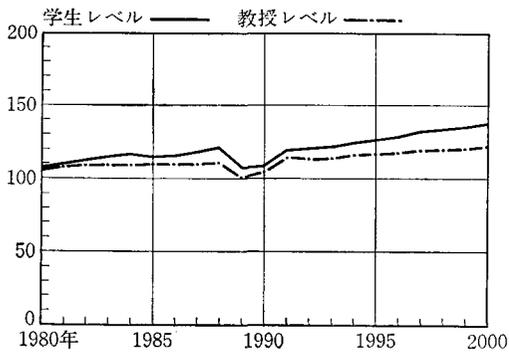
(b)



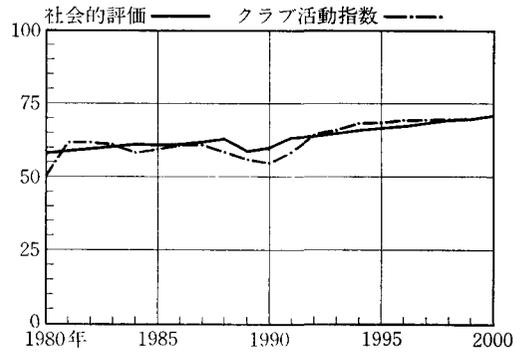
(c)



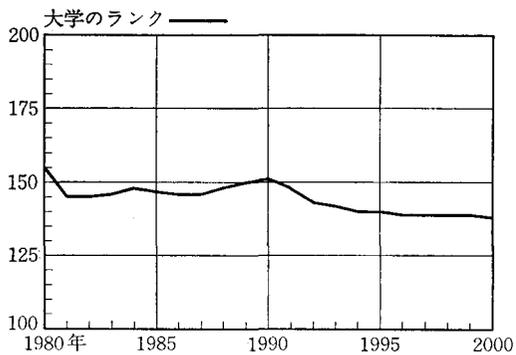
(d)



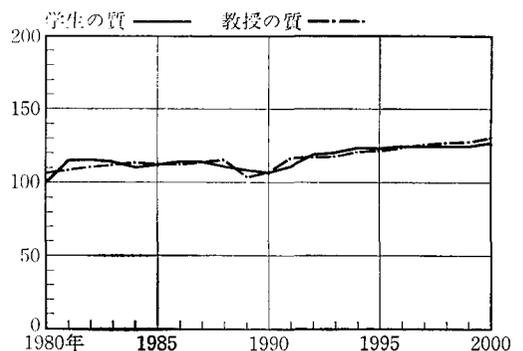
(e)



(f)

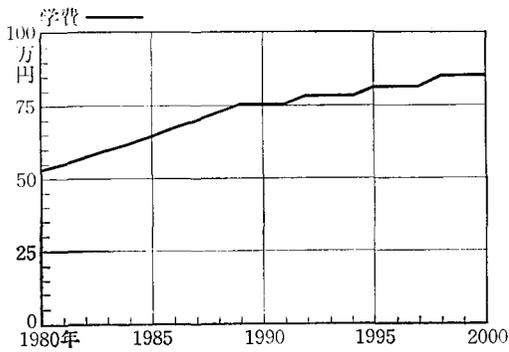


(g)



(h)

図 9 モデルの実行結果 (a ~ i)



(i)

メータを決定した。また、本モデルのDT時間(ステップ・バイ・ステップ計算の時間間隔)は1年とする。以上のことを考慮した本大学モデルのフロー・ダイアグラムを図8に示す。

## 6. モデルの実行結果

図8のフローダイアグラムをもとにして作成したBASICプログラムの実行結果を見てみよう。

まず、ここでは、シミュレーションの開始年を1980年とした。各パラメータの初期値はフローダイアグラムの中に記されているとおりである。

このような条件のもとで、コンピュータ・ランした一連の結果を図9に示す。本大学モデルにおいて、質的向上を主として大学を発展させるのに最も重要なのが受験者数を増加させることであるのは始めに述べたとおりであるが、図9(a)に示すように、計算結果は初期値(1980年)で1万人の受験者が20年後には、21,389人と2.1倍に増えている。しかし、1985年から1990年までは減少している。これは、この間ほぼ毎年学費を値上げしていること、および1987年から1991年まで不景気であることなどの経済上の理由によるものである。ただし、ここでの景気は標準で100、最も良い時を150、悪い時を50とし8年周期のSINEカーブを用いた。一方、図9(b)、(c)からわかるように、1988年に新校舎建築用貯金が目標額に達していることが、また1989年、1990年は工事による教育体制、魅力乗数が低下していることがわかる。以上のよ

うな理由から、この時期には受験者が敬遠しているのが認められる。1992年に受験者が3000人近く伸びているのは新校舎が完成したためである。知名度、魅力乗数ともに大きな伸びを示しているのは、これらが受験者の意思決定に大きな影響を与えたためである。

次に、本モデルの主目的である大学の質の向上に関する学生レベル、教授レベル、社会的評価は1991年に新校舎工事中のため教育体制の低下により低くなっている。しかし、それ以外ではほぼ直線的に良くなっており、教育体制の伸びに似ていることが図からわかる。したがって、これらの変数は教育体制に強く影響されていると言える。また、これらの質的要素が直接的な伸びを示した理由の1つに、ほぼ毎年受験者数が増えていることおよび減ったとしても入学者数を最大で150人減らすことで競争率を保ち、大学のランク、学生の質の低下を防いでいることが挙げられる。

一方、最も変動が激しいのは就職率である。これは、一番景気に影響を受けるために周期的に変動しているのが図9(d)に見られる。しかし、これもまた学生レベル、社会的評価等の向上により上昇傾向である。また、この就職率に影響される魅力乗数もわずかであるが周期的に変動している。

以上のように、どの変数も基本的に向上していることが計算結果からわかる。

## 7. むすび

本稿では、システムダイナミクス法による私立大学モデルを構築するための一例を紹介した。はじめにも述べたように、本稿ではモデルの整合性、すなわち、そのモデルが真のシステムのモデルとして適合しているかどうかのvalidationについては触れていない。しかし、大学モデルの構築はその特殊性ゆえにきわめてむずかしいテーマである。ここでいくつかの問題点を述べてみよう。

本モデルでは、総収入と総支出との差額を各貯

金に割り当て、そこから投資し、支出と差額からの調整によって学費を設定したが、しかし、実際の私学経営は複雑でわかりにくい。したがって、より正確なモデルを作るには私学の経営構造を詳細に調査しなければならない。また、各因果関係はアンケート調査によって再確認する必要があり、そうすることによって新たな因果関係の発見もできる。本モデルのシミュレーション期間は20年間にわたって行なったものであるが、この間における物価上昇、貨幣価値の低下には無視できないものがある。また、本モデルでは計算開始点を5年前から行なったが、より正確なモデルを作るためには、少なくとも10年位前に計算開始点をおき、過去の実績値とモデルのラン値との比較を考えることが望ましい。したがって、これらを考慮したモデルを構築するのも興味深い。

一般に、validation をどのように行なうかということは、システムダイナミクスと限らず、シミュレーション全般にとって重要な研究課題とされている[10]。

本モデルで使用したBASICプログラムのリストを入用したい方は筆者までご連絡していただければお送りいたします。

最後に、本モデルの実行プログラム作成に協力してくれた卒論生の牧谷眞一、富田秀樹の両君に

感謝する。

## 文 献

- [1] J. W. Forrester: Industrial Dynamics, Harvard Business Review, pp. 37-66, July-August, 1958.
- [2] 島田俊郎: 私立大学のインダストリアルダイナミクスモデル, 第1報, 明治大学科学技術研究所紀要第9冊, 昭和45年.
- [3] 島田俊郎: 私立大学のインダストリアルダイナミクスモデル, 第2報, 明治大学科学技術研究所紀要第10冊, 昭和46年.
- [4] 大鹿, 坂本: システムダイナミクス法による大学発展の要因分析, 1983年度日本オペレーションズ・リサーチ学会秋期研究発表会アブストラクト集, C-4, 1983年10月.
- [5] 椎塚, 安達, 古谷: SD大学モデル(1)ーフローダイアグラムの設定ー, 1985年度日本オペレーションズ・リサーチ学会秋期研究発表会アブストラクト集, 1-E-1, 1985年10月.
- [6] 椎塚, 安達, 古谷: SD大学モデル(1)ーモデルの実行結果とその分析ー, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋期研究発表会アブストラクト集, 1-E-2, 1985年10月.
- [7] 椎塚, 牧谷, 富田: 質的要素の発展を優先したSD大学モデル(1)ーフローダイアグラムの設定ー, 1986年度日本オペレーションズ・リサーチ学会春期研究発表会アブストラクト集, 1-C-2, 1986年5月.
- [8] 椎塚, 牧谷, 富田: 質的要素の発展を優先したSD大学モデル, 1986年度日本オペレーションズ・リサーチ学会春期研究発表会アブストラクト集, 1-C-3, 1986年5月.
- [9] L.D. Lebel: System Dynamics, in Progress in Modelling and Simulation, edited by F. F. Cellier, Academic Press, pp.119-158, 1982.
- [10] 島田俊郎: 私信, 昭和60年12月.
- [11] 小玉陽一: システム・ダイナミクス入門, 講談社, 昭和59年1月.
- [12] N.Roberts, et al: Introduction to COMPUTER SIMULATION, A System Dynamics Modeling Approach, Addison-Wesley, 1983.

## 次号予告

### 特集 AHP (階層化意思決定法)

AHPを用いた意思決定の構造と判断

トーマス・L・サーティ

新エネルギーシステムの評価 今野 浩, 他

住宅用エネルギーシステムの評価 辻 毅一郎

租税構成の検討 刀根 薫, 他

ダムゲート診断エキスパートシステム

寺野隆雄, 他

商品計画への応用について 瀧澤 正博

### 事例研究

衛星画像データにもとづく

広域的農業開発適地選定 稲垣敏之, 他