

# 経済システムのコンピュータシミュレーション利用検討

白石 高 義

(受付 2002 年 10 月 4 日)

## 目 次

1. は じ め に
2. シミュレーション
3. STELLA の記述規則
4. テストのためのモデル
5. 経済システムモデル
6. 結 言
7. 参 考 文 献

## Abstract

Many of the simulations in the field of economics are statistical, and it was customary to execute them on large computers. But recently performance of personal computers has improved so rapidly and high-resolution color displays are available. So it is now feasible to observe transitions along the passage of time, and the grasp of characteristics and functions are at hand. Several packages of software for such purpose are available.

In this study STELLA is chosen among such kinds of software and a simulation of basic economy system is executed.

STELLA has been developed for the purpose of supporting creative learning, and it maps user's hypotheses into charts and puts them into practice. So it is possible for the user to see the compositional structure of his hypothesis by displaying its algorithm, and also he can see how his hypothesis works. Such function seems to be well utilized in multimedia education.

STELLA's strategy for system analysis is object oriented, using data flow diagram (DFD).

The awaiting theme is to examine those diagram programming languages other than STELLA.

## 1. は じ め に

一般に、経済系のシミュレーションは、統計が中心で、規模が大きくなり到底パーソナル・コンピュータでは不可能であると思われていた。しかしながらパーソナル・コンピュータの性能が飛躍的に向上し、高精細カラーディスプレイの利用も普通となった。これにより、時間経過に伴った動作を観察し、特性や機能の把握が自分の手元で行えるようになった。またこれに適した市販のソフトウェアも発売されている。今回はその中から「STELLA<sup>1)</sup>」を使用し

1) STELLA は High Performance Systems, Inc. の登録商標である。

て経済システムのシミュレーションを検討する。

## 2. シミュレーション

コンピュータの開発は、大砲の着弾距離表の作成にあったといわれている。

コンピュータの性能向上に従い、次第に、複雑な現象を表示できるようになった。このことをコンピュータシミュレーションと呼んでいる。

シミュレーション (simulation) は、ラテン語 *simulo* (まねる, 複写する, ふりをする) から来た言葉である。

コンピュータによるシミュレーションは、コンピュータ出現の当初は、モンテカルロ法などの確率的数値実験のことを指していたが、最近では、もっと広く複雑な現象の物真似を行うことを意味するようになった。つまり、時間経過に伴ってどのように動作するかを観察し、特性や機能を把握しようとするものである。

ここに、ものが存在し、それが時間の経過とともに変化したり、外界に影響を及ぼしたりする。これを現象と呼んでいる。

現象の *simulate* するには、まず現存する物と、それがどのような振る舞いをするのかの法則を確定しなければならない。この一連の作業をモデル化と呼んでいる。また、この法則を記述したものをモデル (*model*) と呼ぶ。

モデルは多種多様である。例えば、データの検索モデルや、単純な計算はここで言うシミュレーションの概念に当てはまらない。ここでは、時間とともにモデルの各変数が変化、移行していくものを扱う。

これ等のモデルは、大別して、時間依存型モデルと、再帰型モデルに分けられる。また、変化推移時間が、連続な連続推移モデルと離散的な離散推移モデルに分ける。

### a. 時間依存型モデル

これは、時間変数が独立の変数として体系に入っていて、システムが時間の陽関数として表されているモデル。

例えば

$$\frac{dx}{dt} = ax \tag{1}$$

はこれを

$$x = ae^t \tag{2}$$

のように解いた形式で示せば一般的な時間依存型モデルになる。

## b. 再帰型モデル

漸化式で表現するもので、例えば

$$x(t+1) = x(t)(1+c) \quad (3)$$

である。

このように、シミュレーションに使うソフトウェアは、C言語の様なプログラム開発言語であるがモデルの図式表現で実行できること、その結果表現に経過数値記録とグラフ表示ができることが重要である。

ここでは、上記を満足する、創造性教育ソフトとして紹介されている STELLA を使用する。

尚、考察の対象とする現実の世界の状況によって、シミュレーションのモデルを使い分けることがある。一連の条件から結果が一意的に定まる状況に対しては、決定的モデルが用いられ、因果関係が確率的に定まる状況では、確率的モデルが用いられる。

決定的モデルによるシミュレーションは、確率的モデルによるものの特殊な場合と言える。また、モンテカルロ法で、一つの乱数が抽出されて値が定まった後は、決定的シミュレーションと変わるところはない。

## 3. STELLA の記述規則

STELLA 言語の基本的な構成要素は、ストック、フロー、コンバータとコネクタである。

### a. ストック



図1 ストックの記法

ストックは四角形で示される。名前の通りデータの蓄積、保存をする。したがって実行の後にも直前のデータが残っている。これにはリザーバ、コンベア、待ち行列とオープンの4つのタイプがある。

リザーバは一般的な加算蓄積である。

コンベアは遅延回路として機能する。

待ち行列は窓口での待ち処理である。

オープンは一時間、一定容量までの蓄積を処理する。

b. フロー

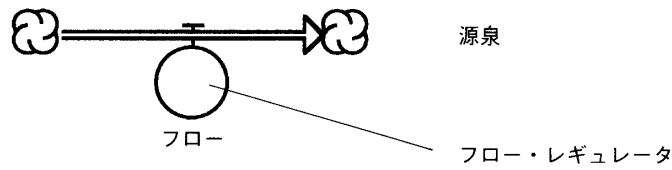
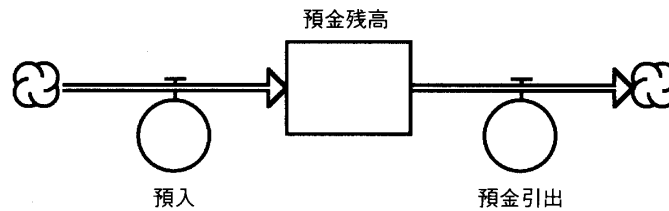


図2 フローの記法

フローは動作あるいは動作中の物を表す。フローはストックへの流入またはストックからの流出を制御する。

ストックとフローを組み合わせた貯金の例を示すと、



となる。

c. コンバータ

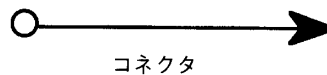


コンバータ

図3 コンバータの記法

コンバータはデータの変換をする。変換には、関数変換だけでなく利用者が指定したグラフによる表引変換も可能である。同様のことがフロー（フロー・レギュレータ）でも行える。

d. コネクタ



コネクタ

図4 コネクタの記法

コネクタは各要素間を結ぶ矢印である。

これ等の要素を活用して、モデルを構築する。言い換えれば、プログラムする。

#### 4. テストのためのモデル

非常に簡単な例として、複利預金のモデルを考える。

元金1000,000円を複利で預金する。このとき利率は年3%とし、引き出さない。

経年預金高を観測する。

モデル構築は、

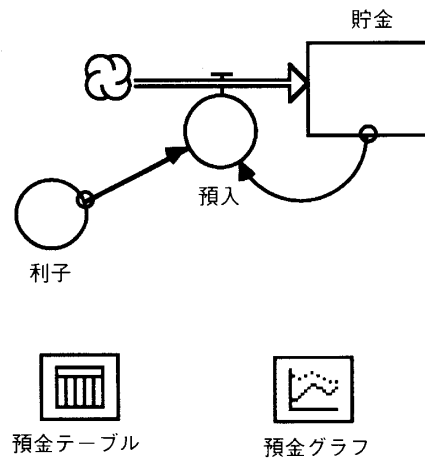


図5 複利計算モデル

関係は、

次年度の貯金=現在の貯金+利子増加分（預入）である。

したがって、ストック「貯金」の初期値は、100,000（円）である。

フロー「預入」での変換は「利子」\*「貯金」となる。

コンバータ「利子」は定数 0.03 である。この定数にはストックを当てるべきかもしれない。

モデルの構築の後、結果の表示として、テーブルとグラフを用意したこれを設定する。

まづテーブルについて、テーブルパット・ダイアログを開く。（テーブルを開き、メニューバー「モデル」より「テーブルの定義」

「選択可能」リストから「貯金」を選ぶ。（選択可能リストから「>>」ボタンで選択済みリストに移す。）

方向：垂直に v（チェックマーク）をつける。

表示間隔：「全ての DT について」の v を外して「1」を記入。

表示：「瞬時値」を選ぶ。

フローの量の表示：「期末バランス」を選ぶ。

タイトル：を記入。「OK」。

次に、グラフパット・ダイアログを開く。

さきと同様に「選択可能」リストから「貯金」を選ぶ。

タイトルを記入。

グラフのタイプ：「時系列」などそのままが良い。「OK」

実行の前に、メニューバー「実行」から「時間の設定」を行う。

「シミュレーションの期間」

開始：1

終了：12

DT：1

時間の単位： 年

それ以外はそのままが良い。

以上で準備完了。実行する。結果はテーブル，グラフに表示されている。

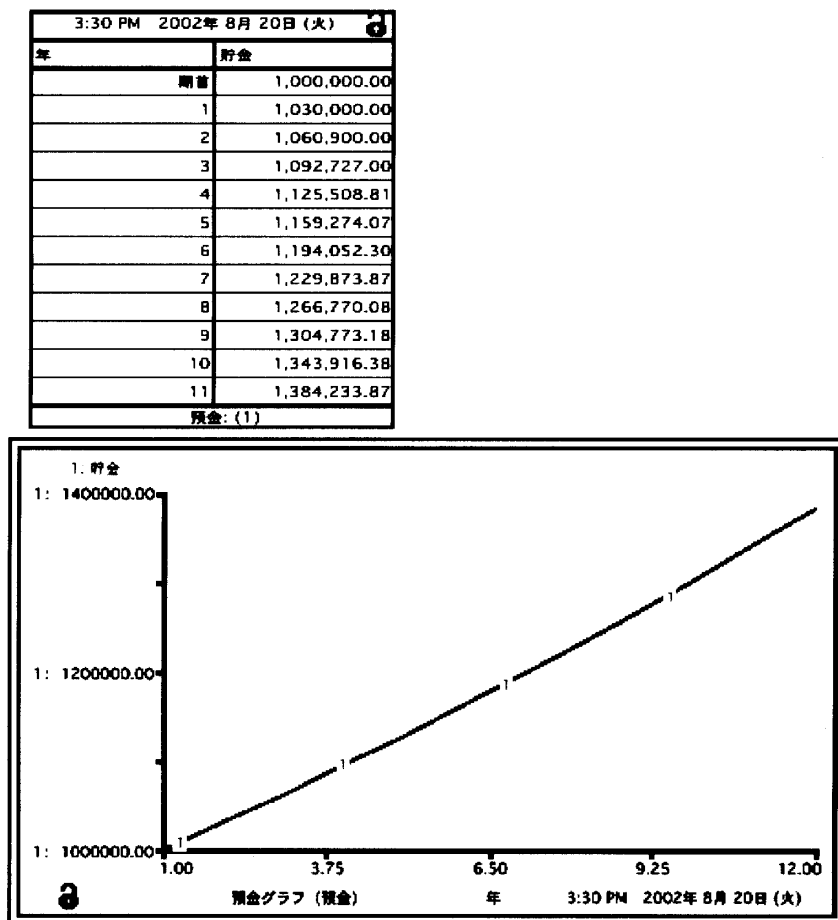


図 6 複利計算の結果の表とグラフ

次に、市場メカニズムで議論される需要と供給の均衡<sup>2)</sup>モデルについて示す。

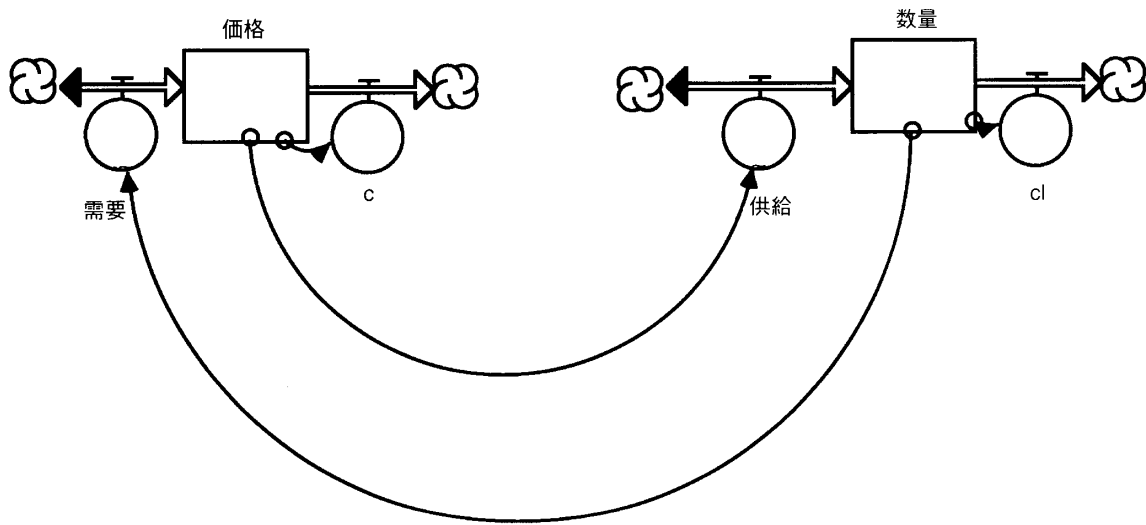


図7 市場均衡モデル

ここで、各要素について、ストックを□、コンバータを○として示し、

$$\square \text{価格} (t) = \text{価格} (t-dt) + (\text{需要} - c) * dt$$

初期値 価格 = 2

インフロー：需要 = グラフ (数量) (x, y の位置で表示している)

(0.00, 100), (10.0, 68.5), (20.0, 50.0), (30.0, 40.0), (40.0, 30.0), (50.0, 22.0), (60.0, 14.5), (70.0, 11.5), (80.0, 8.00), (90.0, 4.00), (100, 0.00)

アウトフロー：c = 価格

$$\square \text{数量} (t) = \text{数量} (t-dt) + (\text{供給} - cl) * dt$$

初期値 数量 = 2

インフロー：供給 = グラフ (価格)

(0.00, 0.00), (10.0, 16.5), (20.0, 28.5), (30.0, 40.0), (40.0, 52.0), (50.0, 64.0), (60.0, 73.5), (70.0, 81.5), (80.0, 88.5), (90.0, 95.0), (100, 100)

アウトフロー：cl = 数量

ここで、「需要」と「供給」のグラフを重ねて表示すると下記のグラフとなる。

2) サムエルソン「経済学」上 13 版 第 4 章, 岩波書店 (1992)

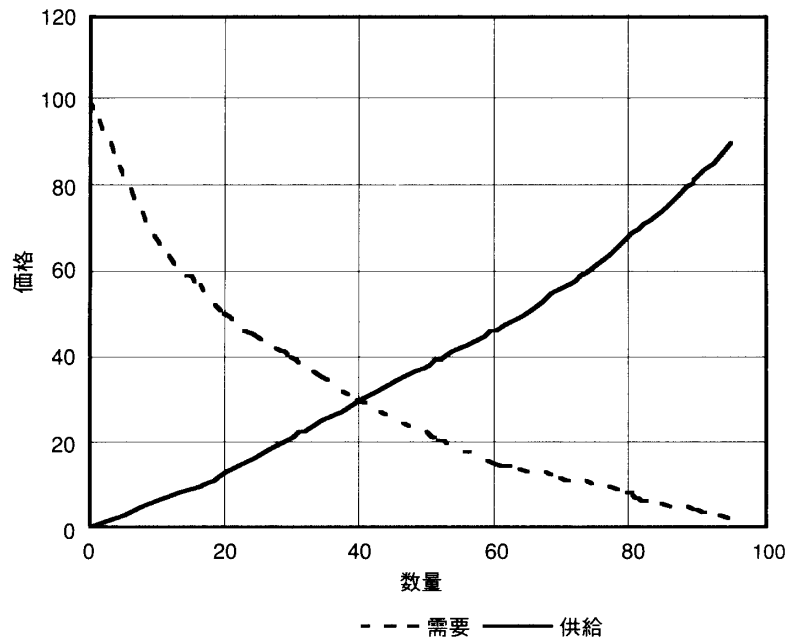


図8 需要、供給のグラフ

グラフ設定は、

グラフのタイプ:「分布」

選択: x 軸に「数量」, y 軸に「価格」をロードする。

これの実行結果は下の図で示した。

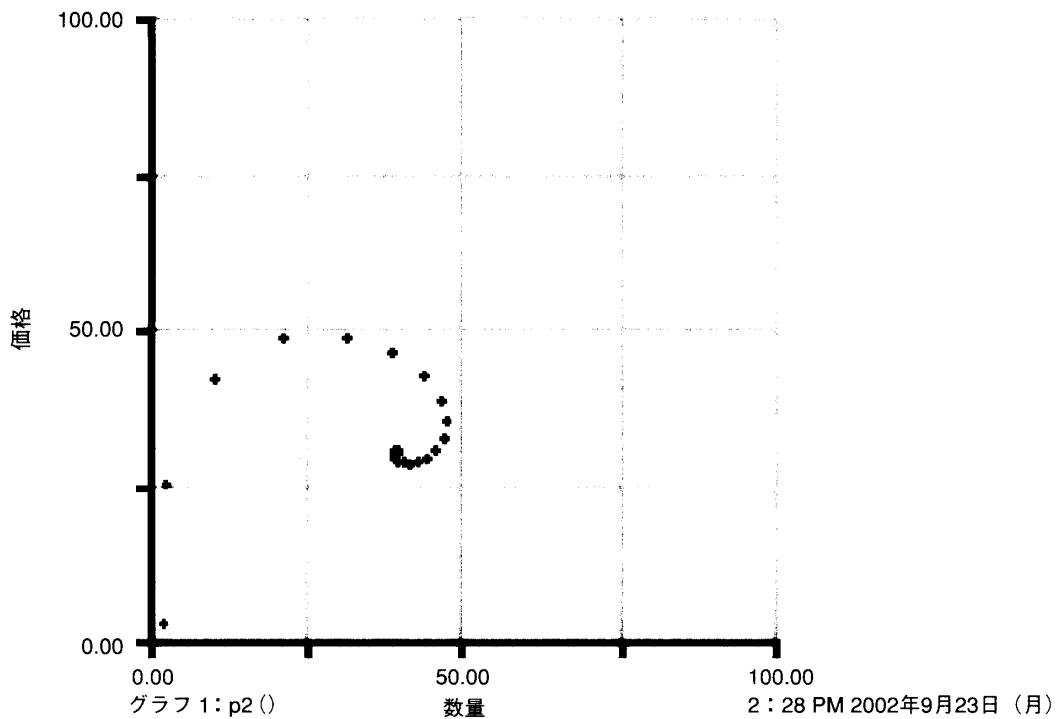


図9 実行経過



これを見ると、次第に均衡点に収斂していくことが明示されている。

## 5. 経済システムモデル

経済システムの例として、リカードの成長・分配のモデルの1部をシミュレートしてみよう<sup>3)</sup>。このモデルの命題は、

価格は生産費によって決定される。

賃金は最低生存水準に落ち着く。

利潤は資本蓄積に充てられる。

資本蓄積は労働需要ひいては穀物への需要を高める。

土地資源の制約から穀物増産のためにはより地代の安い土地での生産が必要となる。

資本蓄積につれて（労働＝穀物需要）が増加し、穀物の限界生産費，地代，穀物価格，賃金が高まる。これに食われて利潤が減少し，やがて資本蓄積が停止する。

穀物条例を廃止し海外の優等地で生産された安価な穀物を輸入すれば，利潤は回復し資本蓄積が再開される。

この前半をシミュレートしよう。

①～④により，資本蓄積の関係は、

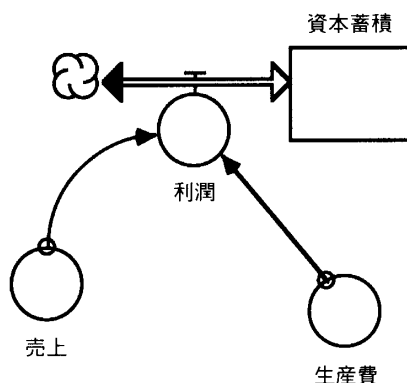


図10 資本蓄積モデル

で示される。ここに「売上」は、価格、穀物などをイメージしている。

ここに、 $\text{利潤} = \text{売上} - \text{生産費}$

で、フローは、利潤が負になる、言い換えると流れの方向が両方向になるので、「バイフロー」を指定する。

次に労働需要は、

3) 日本経済新聞社編：経済学をつくった巨人たち，日経ビジネス文庫695，日本経済新聞社，p 39-52, (2001)

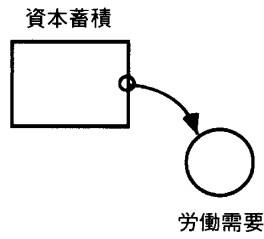


図11 労働需要関係

労働需要 = INT (資本蓄積 / 賃金)

生産費は,

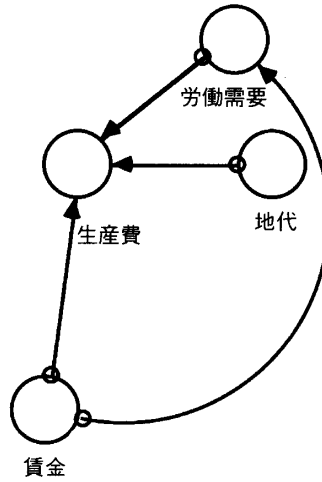
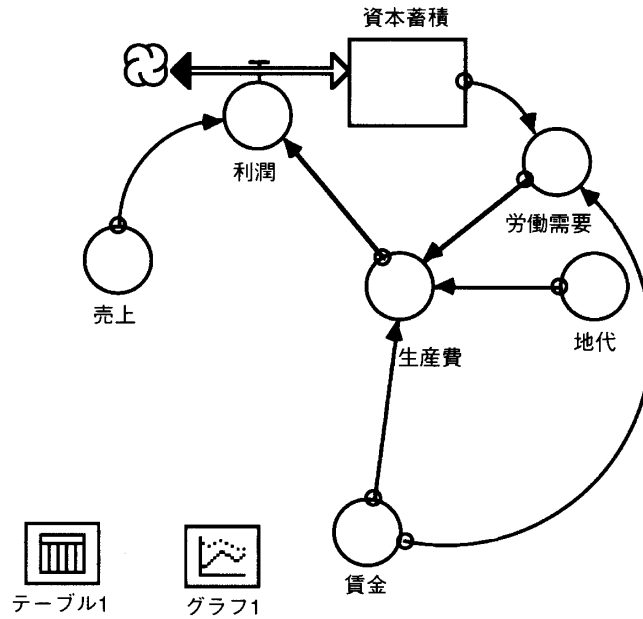


図12 生産費関係

となり,

生産費 = 賃金 \* 労働需要 + 地代

全体として,



テーブル1

グラフ1

図13 リカードの経済モデル

の関係図が得られた。

ここで、売上、賃金と地代は一定とし、おのこの

売上=10000

賃金=200

地代=40

に固定している。また資本蓄積の初期値は、500 とした。

この実行は前回の複利計算と同様に設定して行った。

年	利息	資本蓄積	労働需要	生産費
期首		500.00	2.00	440.00
0	9,560.00	10,060.00	50.00	10,040.00
1	-40.00	10,020.00	50.00	10,040.00
2	-40.00	9,980.00	49.00	9,840.00
3	160.00	10,140.00	50.00	10,040.00
4	-40.00	10,100.00	50.00	10,040.00
5	-40.00	10,060.00	50.00	10,040.00
6	-40.00	10,020.00	50.00	10,040.00
7	-40.00	9,980.00	49.00	9,840.00
8	160.00	10,140.00	50.00	10,040.00
9	-40.00	10,100.00	50.00	10,040.00
10	-40.00	10,060.00	50.00	10,040.00
11	-40.00	10,020.00	50.00	10,040.00

結果テーブル: (1)

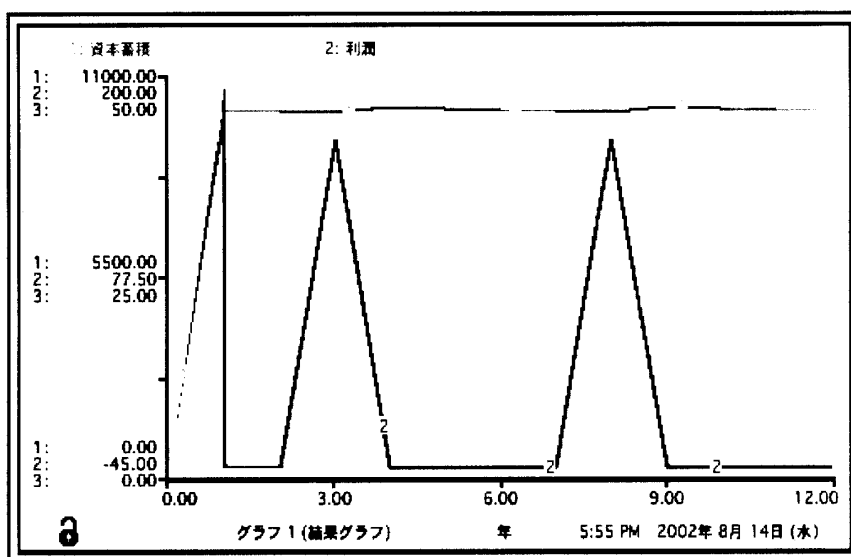


図14 実行結果

の結果が得られた。

先のリカードのモデルは、非常に単純化してしまった。これを少し拡張して考えよう。まず、利潤蓄積を

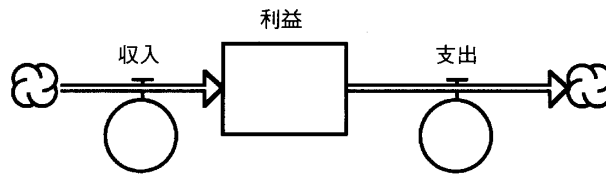


図15 利潤蓄積関係

の関係にモデル化する。このときの収入は、売上であり、支出は、人件費と原価およびその他の設備費である。

人件費のものと賃金は

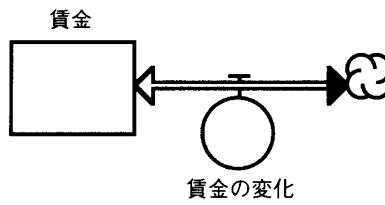


図16 賃金関係

であり、労働量は

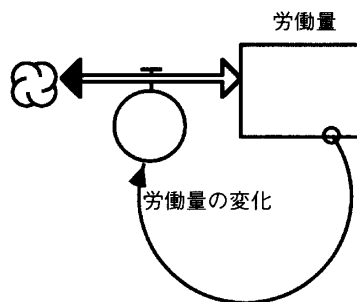


図17 労働量関係

また設備は、

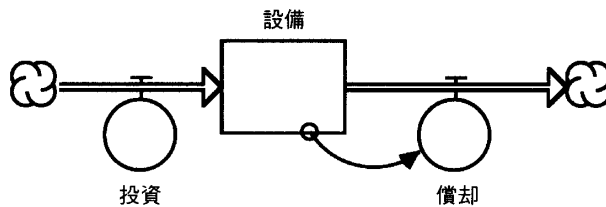


図18 設備関係

収入側の価格と出荷（在庫）のおのおのの関係は、

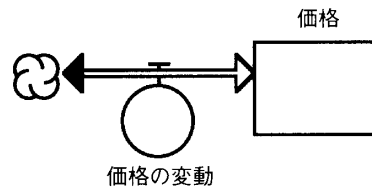


図19 価格関係

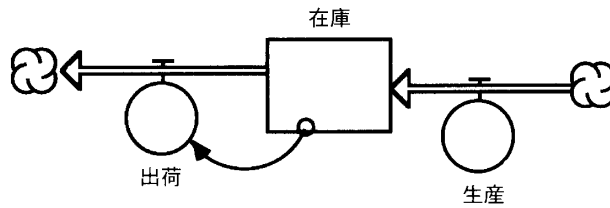


図20 出荷（在庫）関係

で示される。

これを元に全体のモデルは、

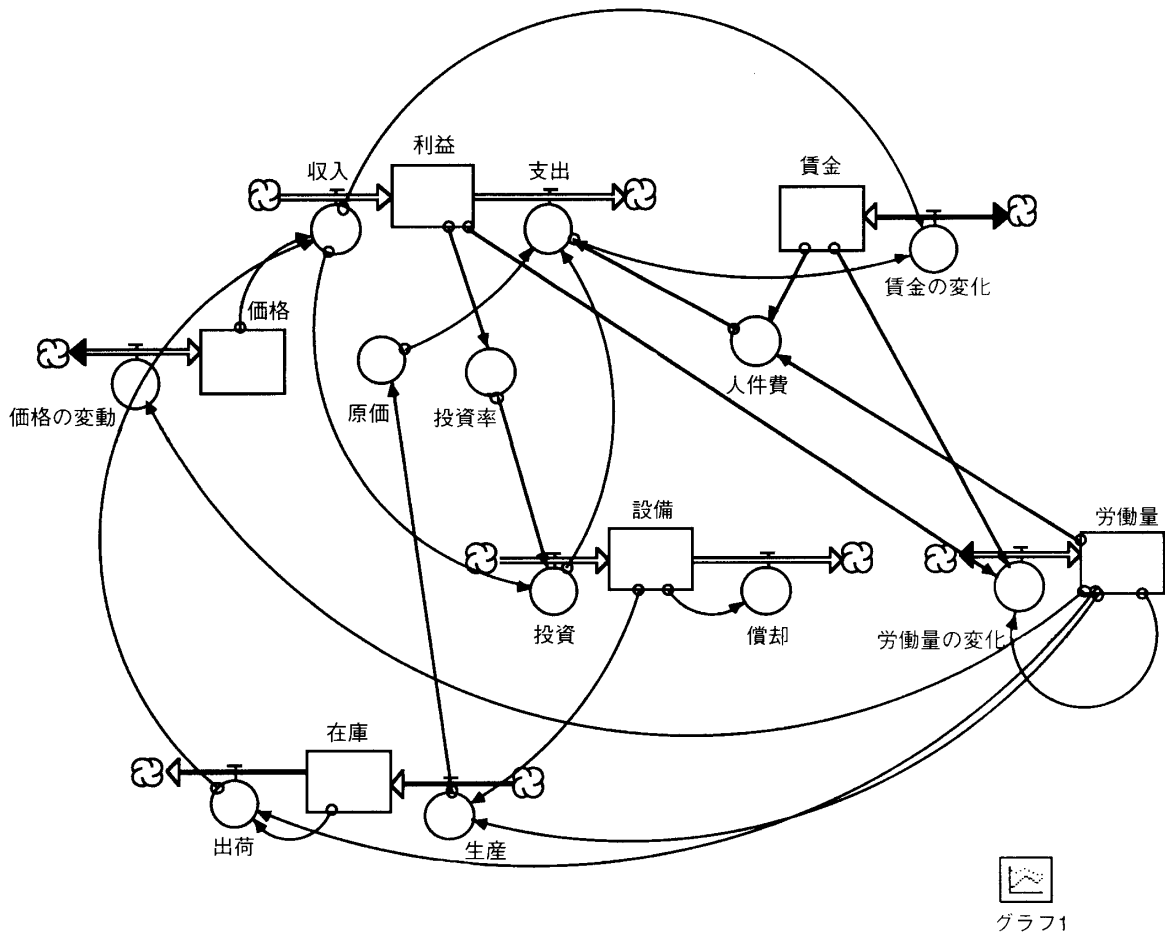


図21 改定した経済モデル

で示される。ここに、おのこの初期値，変換式を定めればこのシステムの挙動が求められ、

例えば

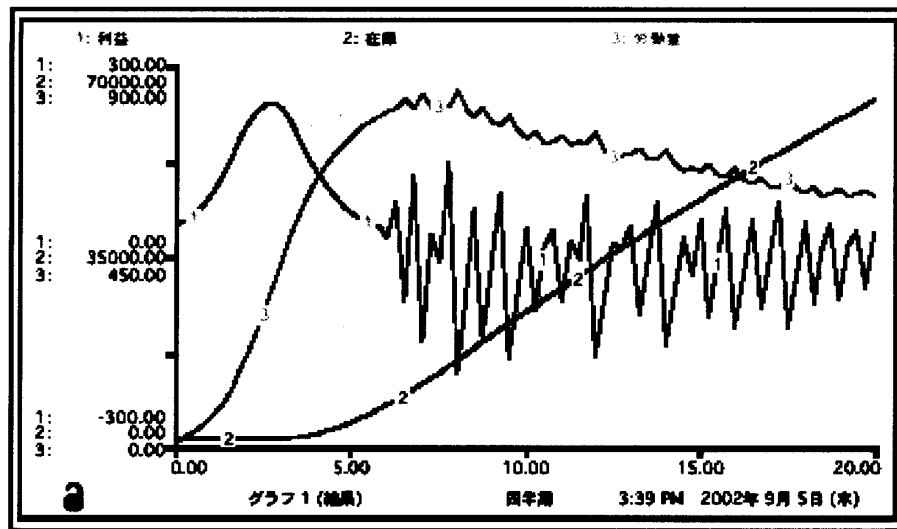


図22 経済モデルの実行例

の結果が得られる。

このときの各要素の関係式は

□ 価格 (t) = 価格 (t-dt) + (価格の変動) \* dt

初期値 価格 = 5

インフロー： 価格の変動 = 労働量 \* 0

□ 在庫 (t) = 在庫 (t-dt) + (生産 - 出荷) \* dt

初期値 在庫 = 1000

インフロー： 生産 = 労働量 \* (1 + 設備/1000)

アウトフロー： 出荷 = 労働量 + 在庫 \* 0

□ 設備 (t) = 設備 (t-dt) + (投資 - 償却) \* dt

初期値 設備 = 40

インフロー： 投資 = 収入 \* 投資率

アウトフロー： 償却 = 設備 / 16

□ 賃金 (t) = 賃金 (t-dt) + (賃金の変化) \* dt

初期値 賃金 = 1

インフロー： 賃金の変化 = (収入 - 支出) \* 0

□利益 (t) = 利益 (t-dt) + (収入 - 支出) \* dt

初期値 利益 = 50

インフロー：収入 = 価格 \* 出荷

アウトフロー：支出 = 投資 + 原価 + 人件費

□労働量 (t) = 労働量 (t-dt) + (労働量の変化) \* dt

初期値 労働量 = 10

インフロー：労働量の変化 = INT (利益 / 賃金) + 労働量 \* 0

○原価 = 生産 \* 0.5

○人件費 = 賃金 \* 労働量

○投資率 = グラフ (利益)

(0.00, 0.00), (40.0, 0.25), (80.0, 0.37), (120, 0.45), (160, 0.52), (200, 0.58), (240, 0.625), (280, 0.655), (320, 0.675), (360, 0.69), (400, 0.705)

これをグラフで示すと

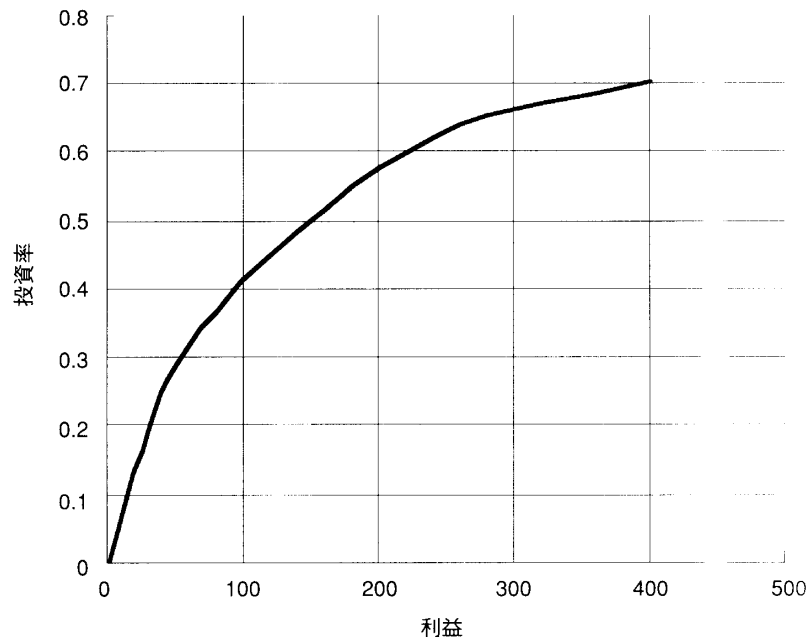


図23 投資率グラフ

この例では、価格および賃金を固定にしているが、利益は、複雑なカオス的な動きを見せている。

## 6. 結 言

以上、STELLA を使用して基本的な経済システムのシミュレーションを実行した。このSTELLA は創造学習支援のために開発されたものであって、各自の仮説を図式に表示し、それを実行に移す。この結果、そのシステムがどのように振る舞うかを知ることができる。また、そのアルゴリズムの図示がそのままプログラムそのもので、システムの構造を容易に知ることが可能である。このことは、最近話題になっている、マルチメディア対応教育の一手段として充分利用可能と思われる。

このシステム解析手法は、データフローダイアグラム (DFD) 的な表現で、オブジェクト指向である。

今後の検討として、このSTELLA 以外にも、図式プログラム言語があるのでこれ等について引き続き検討する。

なお、本論文は、本学調査研究費「グローバル経済における金融リスク管理」研究における成果の一部であり、金融リスク解析ツールとして利用可能である。

## 7. 参 考 文 献

- 中西俊男：コンピュータ シミュレーション，近代科学社（1977）
- 大成幹彦：シミュレーション工学，オーム社（1998）
- 峰村吉泰：数値シミュレーション入門，森北出版（株）（1999）
- 河野，佐野：社会現象の計算機実験，中央大学出版部（1996）
- 井庭，福原：複雑系入門，NTT 出版，（1999）
- 生天目章：マルチエージェントと複雑系，森北出版（株）（1999）
- 都留重人訳サムエルソン：経済学上下，原書第13版，岩波書店（1992）
- 日本経済新聞社編：経済学をつくった巨人たち，日経ビジネス文庫695，日本経済新聞社（2001）
- 高橋裕監修：STELLA 使用説明書，（株）パーシティブューブ（1997）