

<研究ノート>

Extend (EX・TD) による経済シミュレーション

— 連載第1回 Extend の使い方 (入門編) —

荒木 勝 啓

1. はじめに

この連載の目的は2つある。第一の目的は、筆者のゼミナールのテーマである経済シミュレーションに必要な、アプリケーション・ソフトExtend⁽¹⁾に対する、日本語での解説を行うことである⁽²⁾。第二の目的はこれを経済学教育にどう利用していくかという応用例を演習から得られた具体例で報告していくことである。このソフトは、連載の過程で次第に明らかになっていくと思われるが、特に文科系の学生にとって、経済学教育と情報教育を結びつける上での格好の教材になると考えられる。しかし、残念ながら日本語で書かれた紹介書がないために、いまのところその名前はわが国ではほとんど知られていない。

経済学と情報教育の橋渡しの教材としてしばしば取り上げられているのは、天才ウルフラムの作り出したMathematica⁽³⁾であろう。「数学のワープロ」としてのMathematicaが計算ソフトとして第一級であることは疑いもない。しかし実際これを使ってみれば直ちに感じられるように、Mathematicaは、個々の計算ブロックをシステムティックに結んでいって全体としてのモデルを組織的に動かすということを目標とする、経済シミュレーションのような分野には、必ずしも最適化されてはいない。例えば生産部門をモデル化し、次に消費部門をモデル化し、次に海外部門をモデル化し、そして最後にこれ

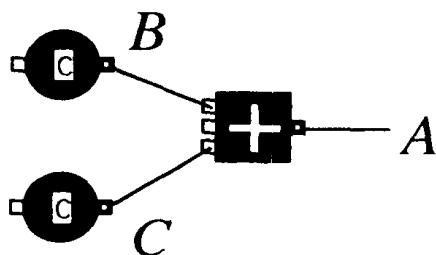
らを互いに連動させるといったプログラムをMathematica上で行おうとすると、複雑なプログラムを書かなければならない。簡単にいうと、Mathematicaにはいまひとつobject 指向性とtask間の連携性が徹底していない。スポーツにたとえるとこれは、個々のプレーヤーは大天才だが、チームプレーが苦手といったソフトであるといえる。

ところがExtendは、計算そのものの精度とか数学的洗練にはあまりとらわれず、逆に個々の計算やそれらの間の関係・手順を極端にまで単純化し、ついには絵文字（アイコン）のレベルにまで要素部品化してしまうというポリシーの上に成り立っている。その表現方法はあまりに単純すぎて幼稚園レベルであるとさえいえる。例えば、足す（プラス）という命令は文字どおり図1に示されるような+というアイコンで示され、定数は○にcのマークで示されるといったようにである。そしてこうした「ブロック」を単に線で結ぶだけで一つのまとまったプログラムができてしまうのである。図1は通常の計算式

$$B+C=A$$

をブロック図に表した単なる「図」のように見えるが、これをディスプレイ上に描いて（後に解説するように、実際には描くというよりも、画面上のアイコンをマウスで引っ張りだすだけであるが）、メニュー項目のRUNをポインターでクリックするだけで、実際にこの計算は実行される。

たとえて言う、コンピューター・プログラムを作るときに思考を整理するためのフロー・チャートやブロック・ダイアグラムを組み立てるが、それが即プログラムそのものになっていると思えばよい。また、上の図では個々の



〔図1 ブロックによる
プログラム〕

のブロックが例示のため単純化されているが、逆にそれぞれの中身をいくらかでも複雑化することもでき、かつ何層にも階層（hierarchy）化することができる。例えばそれぞれBは政府部門、Cは民間部門の需要を表すといったモデルで、中にさらに何層にも小モデル化されたもの

Extend (EX・TD)による経済シミュレーション (荒木)

が詰まっています、それらを総合的に足したものがAになるといったプログラムも、上の図のようなブロック図を積み木のように組み立てていくことで完成されかつ実行される。要するに個々の部品を幾層にも組み上げていって複雑な完成品を作り上げるが、個々の部品そのものはネジやモーターのようにすでにできあがった単純な既製品であるという通常製造業でとられているような方法が、Extendの方式である。工場で製品を作るがごとくプログラムを作るというこの方法論が、プログラミング論でいう「object 指向」に相当することは言うまでもない。

注

- (1) “Extend”はImagine That, Inc. 6830 Via Del Oro, Suite 230, San Jose, CA 95119-1353 USAの登録商標である。
- (2) 日本語バージョンはこの原稿の作成中にEX・TDとしてスリース・カンパニーから発売された。近々次バージョンの日本語版が出される予定であるので、しばらくは、英語版だけを使うことにする。
- (3) Mathematicaは、Walfram Research, Inc. の登録商標である。

2. 経済成長モデルによるチュートリアル

この節では簡単なハロッドモデルを使って次のような「何年で追いつき抜き去るか」問題をシミュレートし、それを通してExtendの基本的な使い方をひとつおりの練習してみることにしよう。

いま国民所得が Y_A の国Aと $Y_B (< Y_A)$ の国Bを考える。A国では貯蓄率が s_A 資本係数が v_A 、B国では貯蓄率が s_B 、資本係数が v_B であるとき、B国は何年でA国の国民所得に追いつき抜き去るか、また n 年後には初期値の何倍になるか。

この問題は経済成長率がハロッドモデルにおいて

$$G = \Delta Y / Y = s/v \quad (1)$$

であることを用いれば計算上は直ちに解けて、例えば15年といった答えが出てくるであろう。ところがそうして得た15という数字は実感としての経済感

覚とはあまり結びついていないであろう。その「記号としての数字」と(1)式が本来持っているであろう経済的な意味は、頭の中でおそらく分離しているにちがいない。計算結果とは、ありうる様々な可能性のうちただ1つを例示したものにすぎず、情報量として少なすぎるからである。(1)式が本来持っている経済的インプリケーションとは例えば

- (i) 貯蓄率 s が高いほど経済成長率が高いであろう
- (ii) 資本係数 v が低いほど経済成長率が高いであろう

といった、具体的な設定によってはひじょうに強烈な意味を持つ主張であって、これを抽象的レベルではなく実感させるためには、様々な仮想的数字を数多く与えて、しかもそうした推論が一瞬にして読みとれるような形式、例えばグラフのような視覚的情報の形式にまとめる必要がある。ここに数多くの試行の繰り返しとビジュアルな提示ということを目指し、「グラフィックなインターフェイスを持つシミュレーション」の必要性がある。

マルチメディアの発達によってここ何年かの間に我々が飛躍的に獲得できるようになった力は、現実のミニチュアを「シミュレート」し、かつそれを「視覚化 (ビジュアライズ)」する能力であろうと思われる。自然科学や工学においては昔から実験という方法によって理論モデルに対する具体的な理解の向上をめざしていた。例えば橋梁の模型を作り、実際に様々な力を加えて破壊してみ、工学的な数式の正しいこと、あるいは場合によっては逆に数式だけではいかんともしがたいこと、等々を体感してきたはずである。経済学のような社会科学はそれに対して「実験できないこと」が最大の特徴とみなされていた。というよりもそのことを自然科学から自らを区別するアイデンティティとして自負すらしていた。しかしながら誰でもが操作できるシミュレーションのパッケージ・ソフトや容易なコンピュータグラフィック・ソフトの登場によって、そうした垣根は、次第に曖昧になりつつあるといつてよい。現にゲームの世界ではこの垣根はとっくに取り払われている。



暴動

住宅地に税金(20%)をかけすぎたために空き家が
目立ち、暴動が起きている。

〔図2 SIM CITY 2000の画面の一部〕

例えば図2は都市計画のシミュレーションゲームのSIM CITY 2000⁽⁴⁾の画面の一例であるが、住宅地に税金を20%もかけたために住宅地から人が逃げ出し、かつ暴動が起きている(画面上ではアニメになっている)。ちなみにこの都市は、工場地帯が税金を3%という低い水準に抑えられているので、工業が発達している。このようにゲームとはいえ財政政策的設定のわずかの違いが、町の発展過程を思わぬ方向に変えていってしまうだろうという筋書きが、動く画面上で仮想現実として繰り広げられる。使いようによってはこのゲームは立派な経済学の教材として使えるだろう。黒板の上だけ、あるいはわずかな例示的数字の上だけで政策を論じると、このようにビジュアルにシミュレーションをも行って論じられるのとでは、その説得力に決定的な差が出ると言わなければならない。こうして社会科学は仮想現実を自由に作り出せるというシミュレーション能力の増大によって、少なくとも説得力という点で、確かめようもない机上の空論のレベルから一気に政策立案用具のレベルへと飛躍する力を、潜在的に持つようになるであろう。経済学教育と、シミュレーションを中心的テーマとする情報教育は、自然科学と実験が不可分の関係に

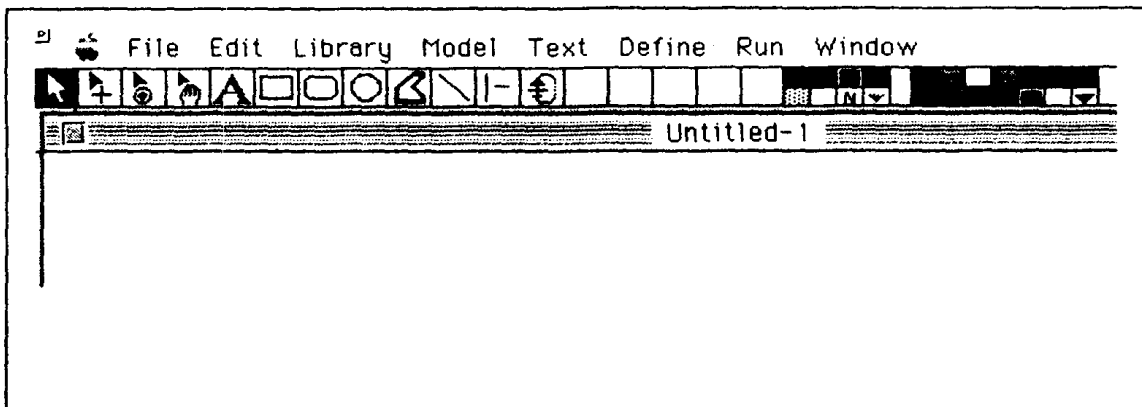
あるのと同様の必然性を持って、融合を始めるであろう。前口上が長くなったが、ここから本題に入る。

注

(4) SIM CITY 2000はSim-Business社（日本語版イマジニア株式会社）の登録商標である。

Extendを開く

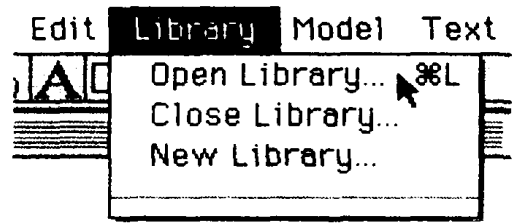
以下で使っているExtendは、ver. 2.0.6の版でMacintosh用である。インストールはすでに済ませてあるものとして話をすすめる。FPU 付きの機種ではExtend FPU という名前の付いたアイコンを、そうでない機種（例えばCPUが680LC40の機種）では単なるExtend のアイコンをダブル・クリックすると通常は図3のような初期画面が開かれる。



[図3 Extendの初期画面]

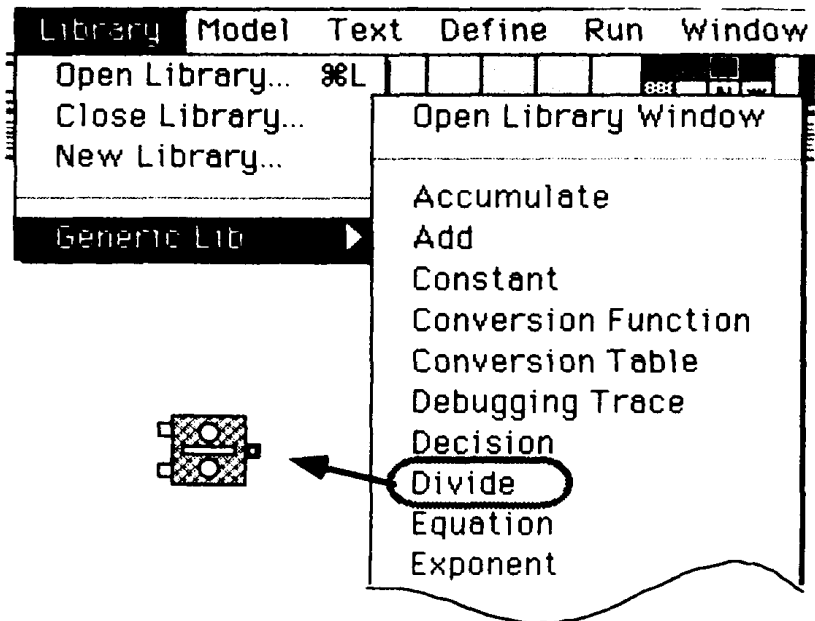
さて「部品」に相当する物はblockと呼ばれている。そこにたどり着くには次のようにする。まずメニューのLibraryを引き出して(図4)、Open Library を選ぶと直ちにダイアログが現れるので、そのダイアログ中のExtend Folder の中のさらにLibraries のなかのGeneric Libというファイルを開く。すなわちダイアログ中の「開く」をクリックする。たまたまこのLib を開いたのは、以下でこの中の部品を必要とするからで、一般的には必要に応じて(メモリーの許す限り)いくつでも特定の用途向けのLibを開くことができる。Generic Libを開くとメニュー項目のLibrary にはGeneric

Libという項が付け加わり、さらにGeneric Libには図5に示されるようなサブメニューが加わる。このサブメニューの中の一つの項目がシミュレーションの「部品」となるblockである。



[図4 Libraryを開く]

例えばDivideを選択すると図5の矢印で示されるように対応する「割る(÷)」という意味のアイコンが画面上に出現する。このアイコンの左側についている四角い突起はInputの接続口で、右側のやや太い四角の突起がOutputの接続口である。Divideのアイコンでは、上のInput口から入ってきた数字が



[図5 ブロックの出し方]

下のInput口から入ってきた数字で割られて、右のOutput口から出ていく。

モデルに合わせてブロックをつなぐ

上述のハロッドモデルを、 Y_0 を初期値として表すと

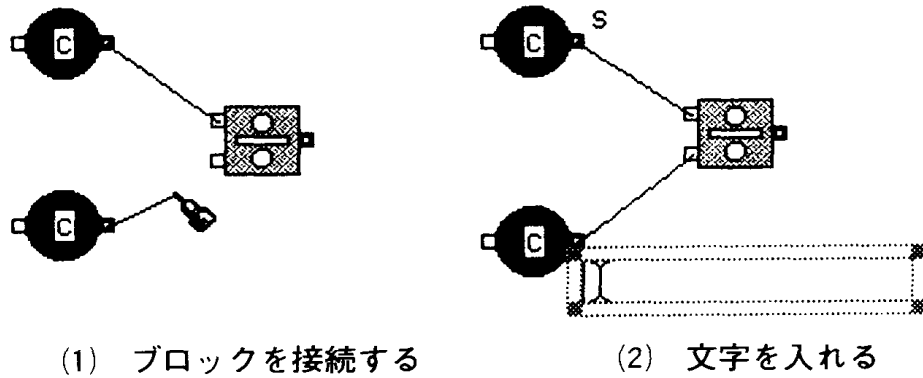
$$Y_t = (1 + s/v)^t Y_0 \tag{2}$$

と書ける。これを途中で区切りがないように計算手順の流れとして書き直すと、

$$s \div v + 1 \text{ を } t \text{ 乗して } Y_0 \text{ を かけると } Y_t \text{ になる}$$

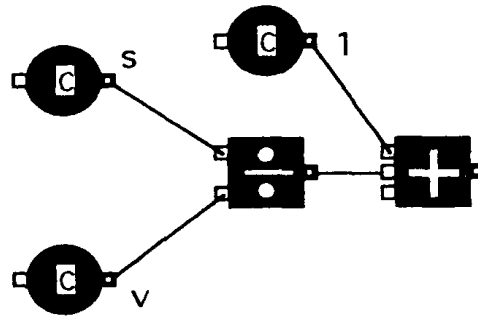
という文章になる。この文章の順番どおりにブロックをつなげていこう。まず $s \div v$ については、Constantのブロックを2つ出してDivideのInputにマウスで図6の(1)のようにつなげることで完成する。マウスのポインターをOutputに置いて引っ張ると図のようにポインターは自動的にボールペンの

先のような形に変わる。また図6の(2)のように上の定数に s 、下の定数に v という文字を添える。



(1) ブロックを接続する

(2) 文字を入れる



(3) 完 成

[図6 $s \div v + 1$ のブロック]

文字を入れるときはメニューの下のアイコンのAのマークをクリックして(図3参照)文字挿入点でマウスをクリックすると図6の(2)のように二重四角の文字挿入マークが出るので、そこにキーボードから文字を入れる。文字の大きさと種類はTextのメニューから選ぶ(図7参照)。以上と同様にしてさらに+1という部分をつけ加えると、図6の(3)のように $s \div v + 1$ のブロック図が完成する。

このブロック図が $s \div v + 1$ を表すことは見ただけでわかるであろう。次に必要なのは経済成長の時間 t である。 t の単位は「年」としてこれを21年分用意しよう。そこでGen-eric LibのメニューからInput Dataを選ぶ。Extendの画面上には図8のようなアイコンが現れる。このアイコンをダブル・クリックすると図9のような入力ウィンドウが現れる。表の第1列目はExtendのシミュレーションの単位となる「時間」で、第2列のYが(2)式の t すなわ

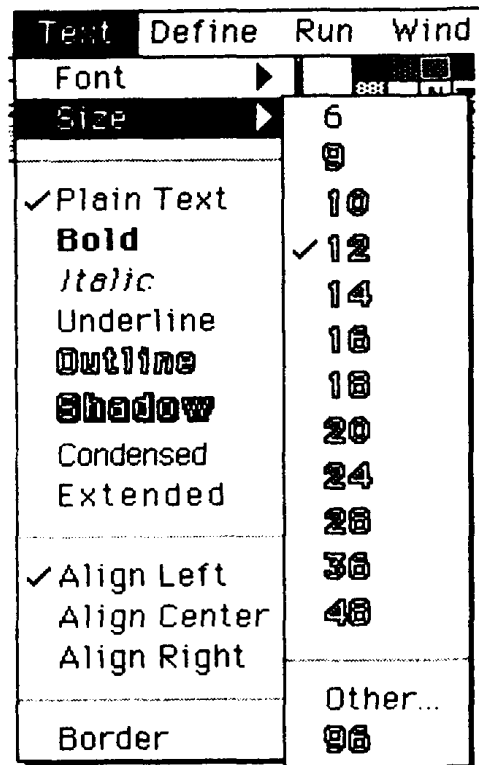
Extend (EX・TD)による経済シミュレーション (荒木)

ち「年」である。この場合シミュレーションの上での時間 t が0から20までを動くとき Y も0から20まで動くので、図9のように表の第1行にはそれぞれ0を第2行には20をキーボードから入れる。またOutput isのチェック欄は“inter-polated”にしておく。Input Dataブロックのアウトプットすなわち「年」は図10のように、Generic Lib から選んだExponentのブロックの

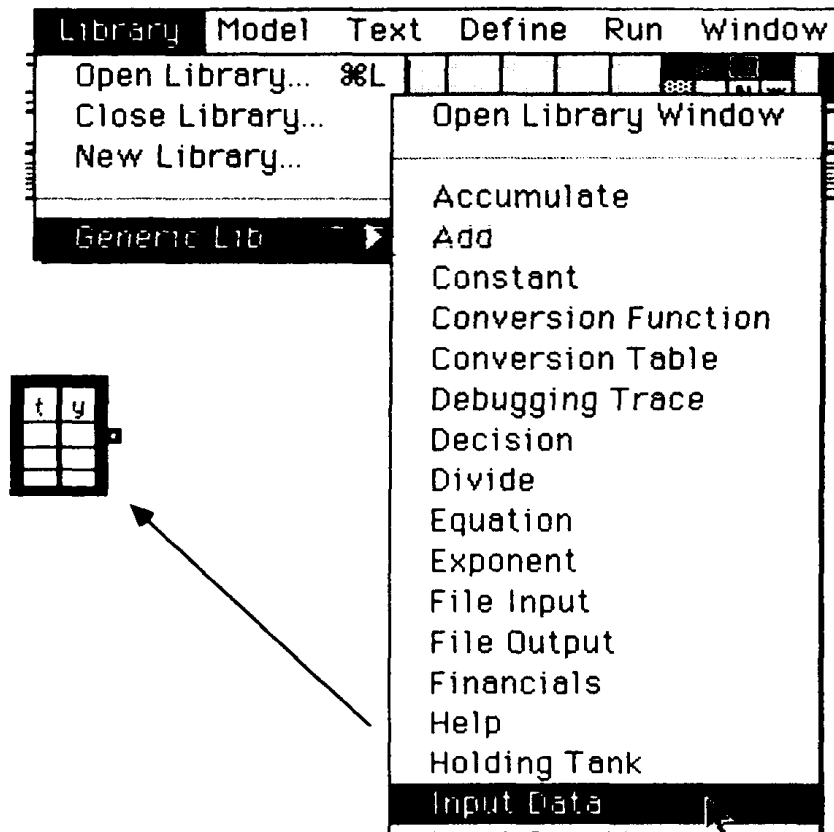
$$x^y$$

の y の部分につなぐ。そして図6のAddのアウトプットを x の部分につなげば、Exponentのアウトプットすなわち x^y が、(2)式の

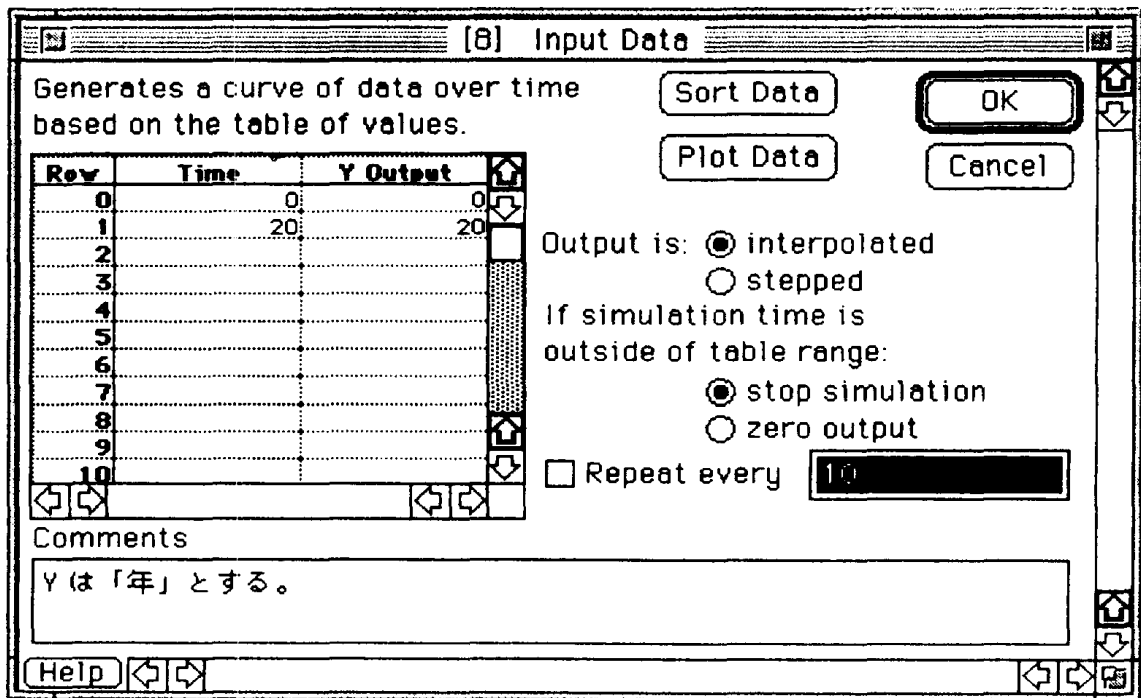
$$(1+s/v)^t$$



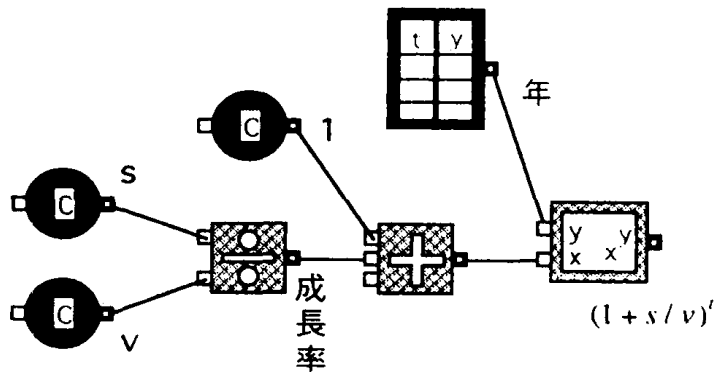
[図7 文字種の選択]



[図8 Input Dataのブロックを組み込む]



[図9 Input Dataの入力ウィンドウ]

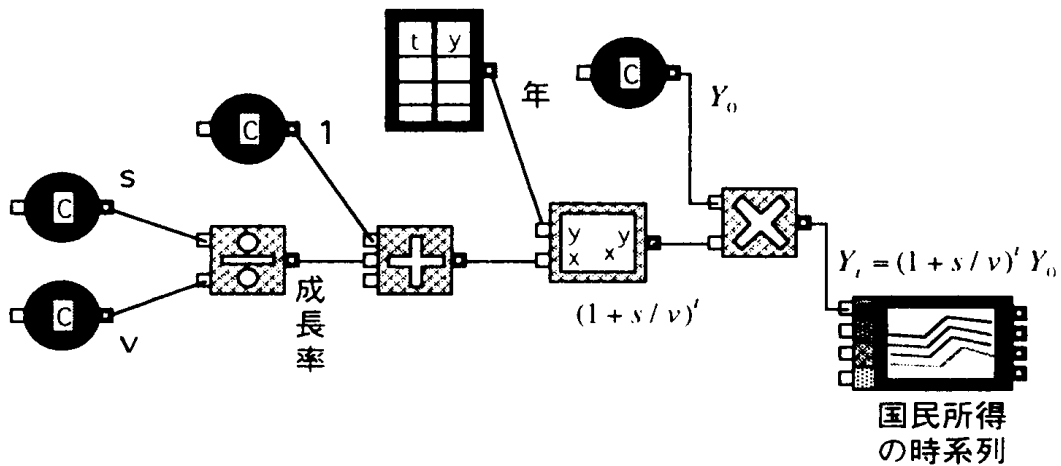


[図10 $(1+s/v)^t$ の部分まで]

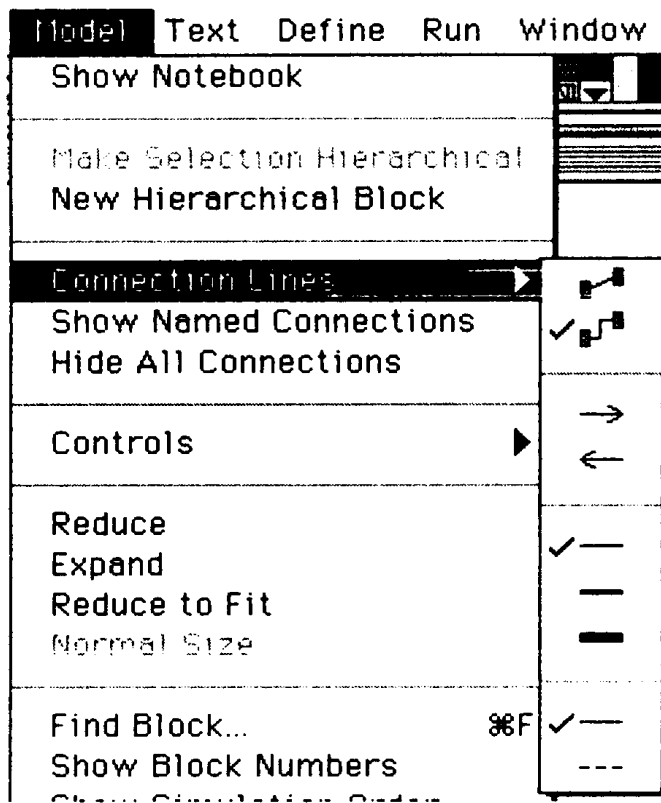
までの部分を表すことになる。 x^y のアウトプットのすぐ下には $(1+s/v)^t$ という文字を入れておこう。ただし (この点はExtend の最大の欠陥であるが) Extendには数式エディターが付属していないので, この式は他の数式編集ソフト, 例えばMath Typeなどで作った $(1+s/v)^t$ という pict形式の数式をコピーアンドペーストで張り付けてある。

また「年」「成長率」という文字も入れておく。成長率の文字はまず横書きで入れてから, マウスで文字入力枠の右隅を下に引っ張れば縦書きにな

Extend (EX・TD)による経済シミュレーション (荒木)

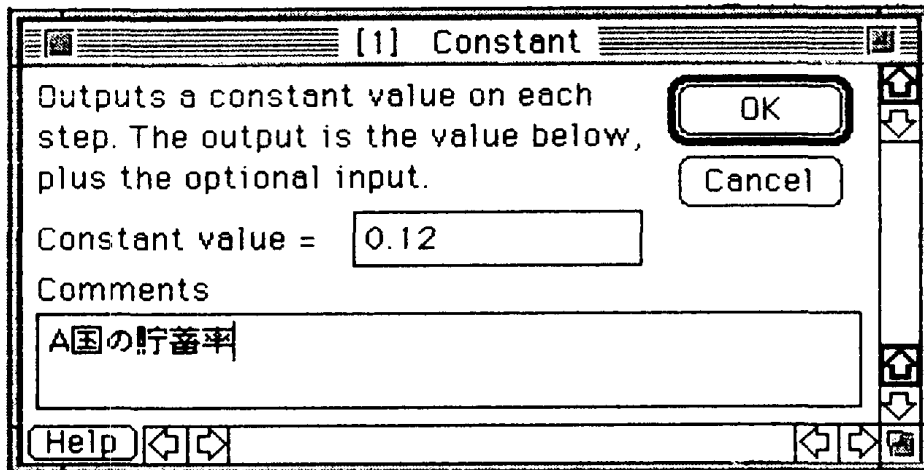


[図11 式の仕上げとPlotterの接続]

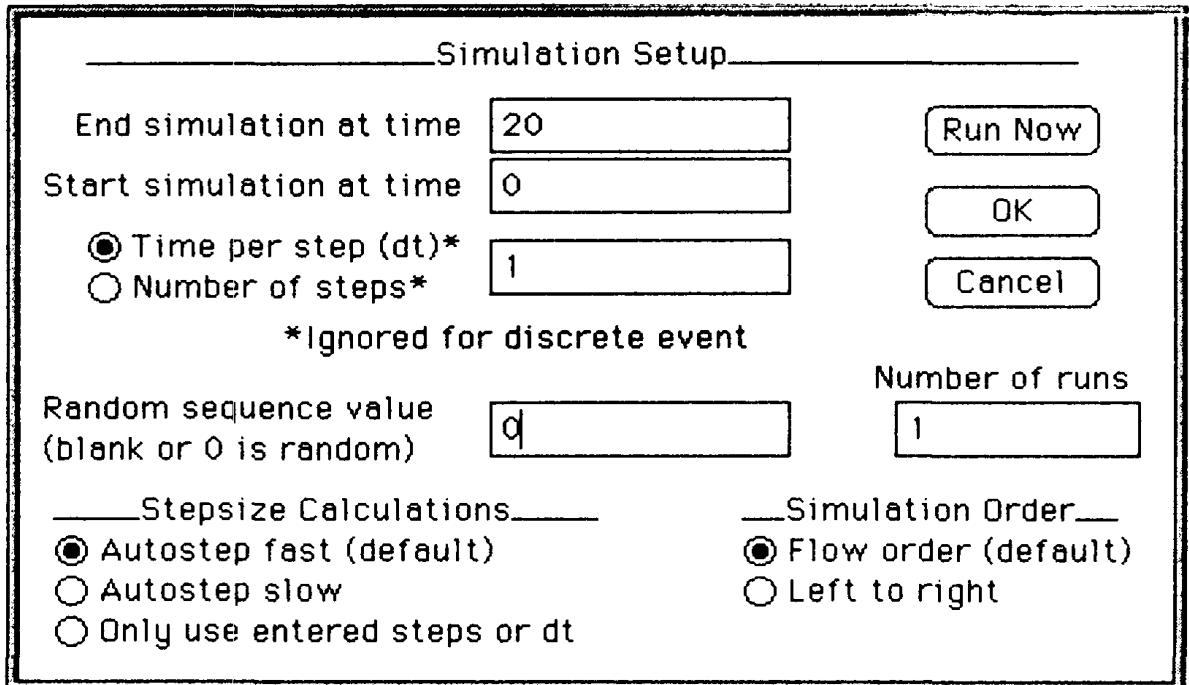


[図12 結線の選択]

る。最後に初期値 Y_0 を掛ける。そして結果をグラフで表示するために、Libraryの中からPlotter Libを開き、さらにその中のPlotter, I/Oを画面に出して、図11のように作図する。線が鍵状に整っているのは、ModelメニューのConnection Linesをこのようにチェックしたからである。線の体裁は図



[図13 具体的な数値の代入]



[図14 シミュレーションの条件設定]

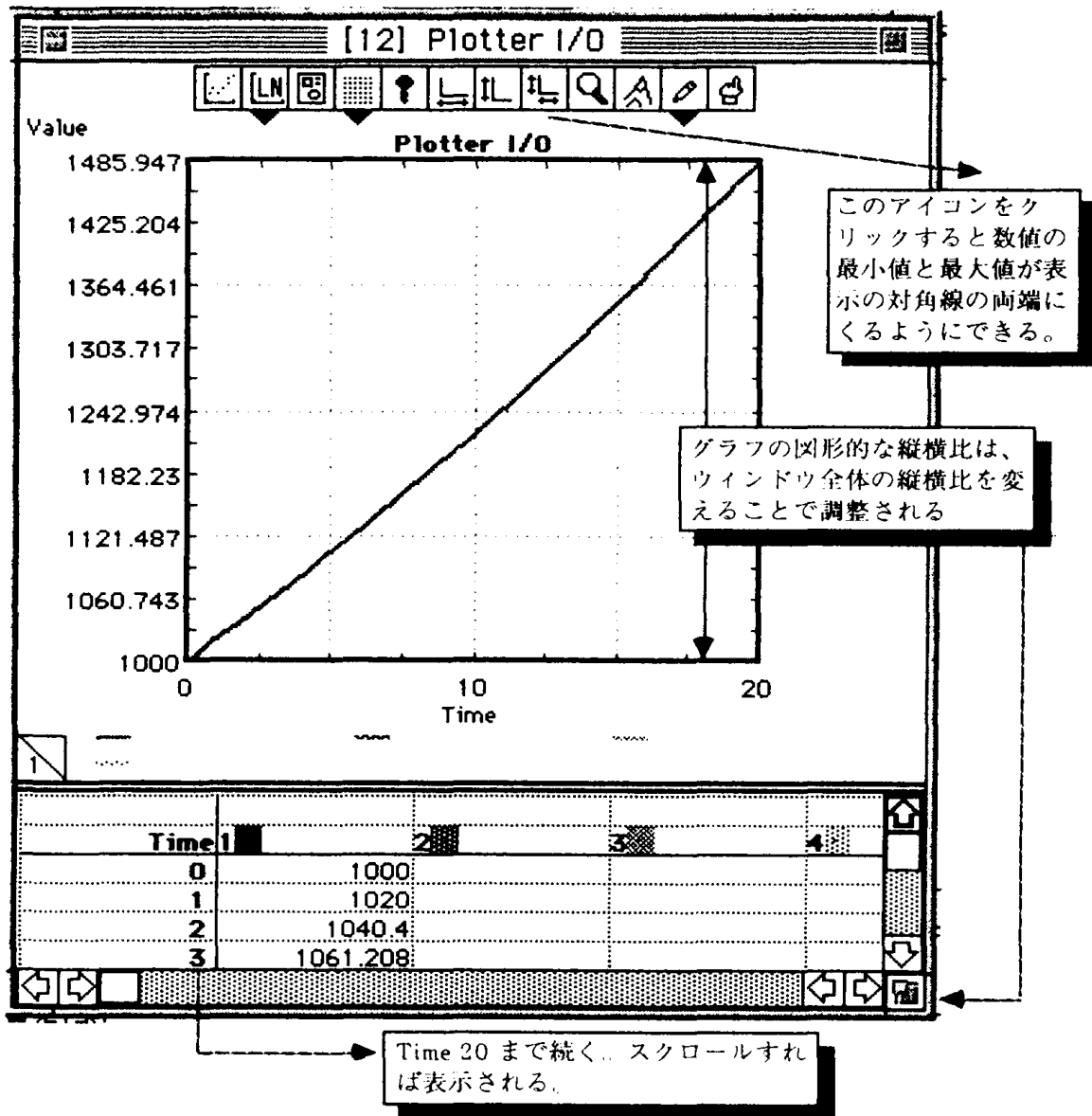
12のように様々に変えることができる。

この段階でとりあえず簡単な数値例によってシミュレーションを行ってみよう。ここでは

$$s=0.12$$

$$v=6$$

$$Y_0 = 1000$$



[図15 グラフの表示]

を代入してみる。数値を代入するには、各アイコンをクリックして図13のようにダイアログ画面に直し、空欄に数字を入れる。デフォルトの状態のConstant Valueは1になっている。Comments欄に適切なコメントを入れておくと、それが例えばより大きなモデルの中の小部品化したときに、どのような意味を持つかが容易に判別できるようになる。数値を代入したら、シミュレーションの条件設定を行っておく。Runのメニューの中のSimulation Setupにポインターを合わせると、図14のようなダイアログボックスが開かれるので、この中でそれを行う。

「時間 ～ でシミュレーションを終了 (End simulation at time....)」の欄には20を入れる。「時間～でシミュレーションを開始 (Start simulation at time....)」の欄には0を入れる。また「ステップあたりの時間 (Time per step (dt))」の欄をチェックし、1を入れる。これで準備完了である。あとはRun Nowのボタンを押すか、またはOKを押して、メニューのRUNを選ぶかすればよい。機種によって時間は異なるが、040マシンであればほぼ1～2秒で図15のようなグラフが開かれるであろう。これが求める結果である。計算結果によっては値が大きすぎてグラフとしてうまく表示されないことがあるが、その場合は、グラフのすぐ上にあるツールのうち、縦軸と横軸あるいはその両方のスケールの伸縮を表すアイコンをクリックするとちょうどよいスケールとして表示される。グラフの図形的な縦横比を変えるには、ウィンドウそのものまたはグラフ面と数表面の境の二重線を上下に上げ下げすればよい。計算結果の数値の一覧は図では画面上では始めから4つ目が表示されているが、スクロールすれば最後の値まで見ることができる。

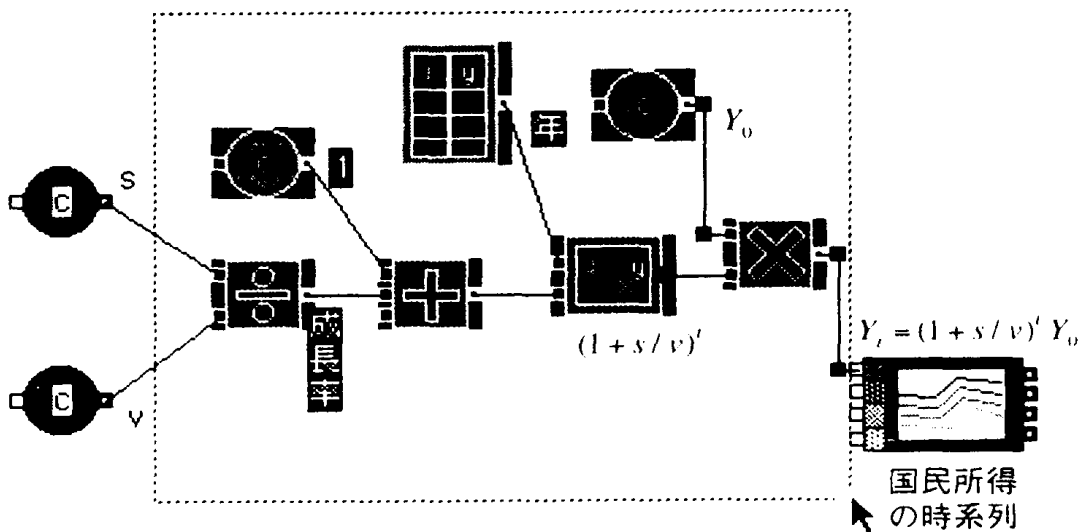
3. 2国モデルへの拡張

階層化の方法

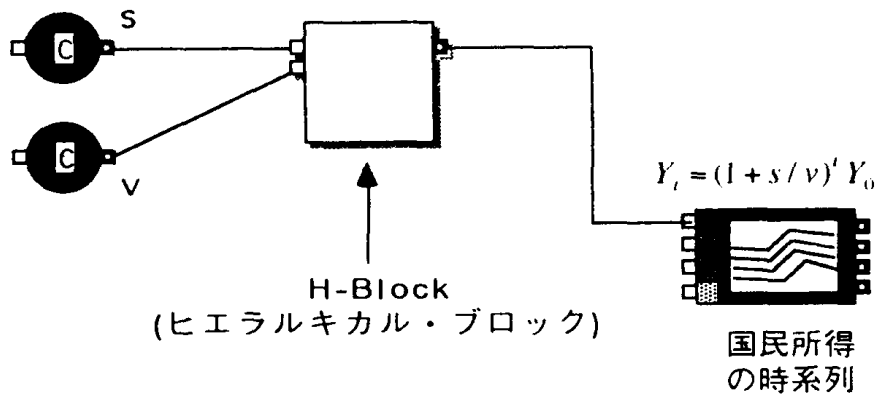
この回のシミュレーションの目的は2国の比較であった。そこで次の作業は、図11のモデルを完全にコピーしてもう1つ作り、結果を同一グラフ面上に表示することであるが、その前に図11を階層化しておこう。その方法は階層化したい部分を選択して、Mod1メニューのMake Selection Hierarchicalを選べばよい。

図16の下の図のようにその結果直ちに選択した部分が真四角で影のついたH-Blockに統合される。このH-Blockは2つの方法で開けることができる。まず単純にダブル・クリックすると図17のようにもとの選択部分が現れる。ただしこの中の、数式ソフトで作ってピクチャー・ペーストしてあった数式は、もとの画面からカットアンドペーストで移動してある。またもと結線であっ

Extend (EX・TD)による経済シミュレーション (荒木)



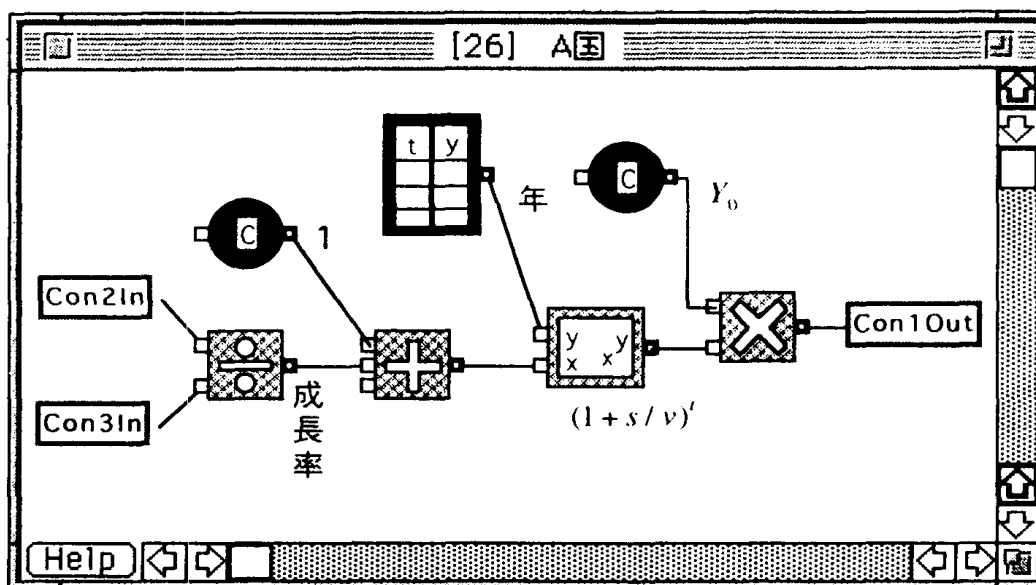
選択して
Modelメニューの
Make Selection Hierarchical
を選ぶ



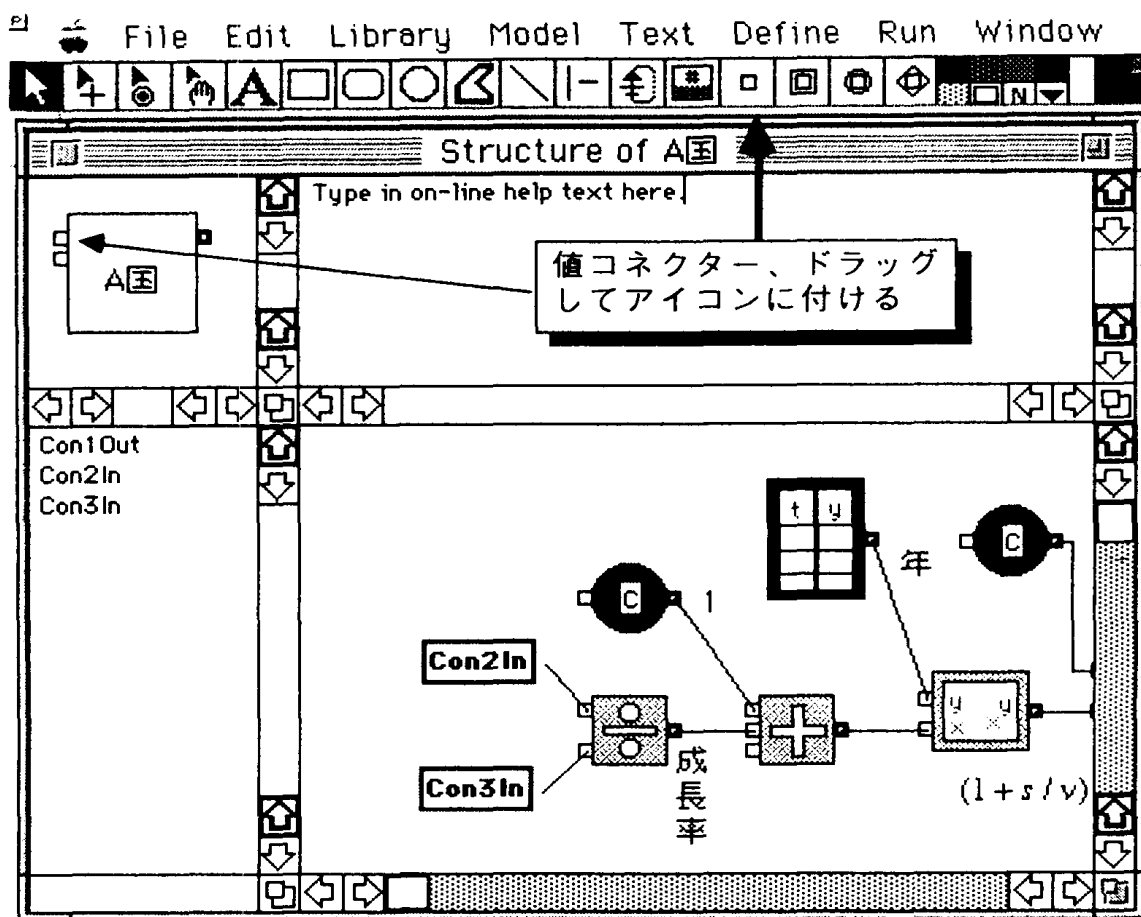
[図16 階層化]

たところは、**Con 2 In** **Con 1 Out** のようにアイコン化されている。

もう1つの方法はOption+ダブル・クリックでH-Blockを開けるもので、その結果図18のように4つに分けられたウィンドウ (paneと呼ばれる) が現れる。同時にメニューアイコンにいくつかのコネクターのアイコンが加わる。この例ではすでに自動的にこのうちの値コネクターが左上の小ウィンドウ (Icon Pane) にあるH-Blockにつけ加えられているが、もし新たにコネクターを加えたいときには、コネクター・アイコンをドラッグして行って、H-Blockアイコンに付けると、直ちに左下のConnectors paneのなかにCon n Inと

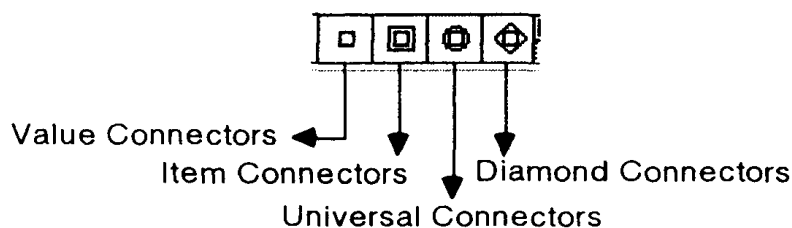


[図17 H-Blockの中身]



[図18 Option+ダブル・クリックで開けたH-Block]

Extend (EX・TD)による経済シミュレーション (荒木)



[図19 Connectorsの種類]

いう文字が現れ、同時に右下のLayout paneの中にCon n Inのアイコンがつけ加えられる。ここでnは通し番号である。Connectors paneの中のCon n InをCon n Outに書き換えるとIcon paneの中のコネクターは太い四角に変わる。なおメニューアイコンの中のコネクターの名称は図19に示す通りであるが、煩雑になるのでこの回では説明を省く。

最後にH-Blockに重ねてA国という文字をいれておこう。

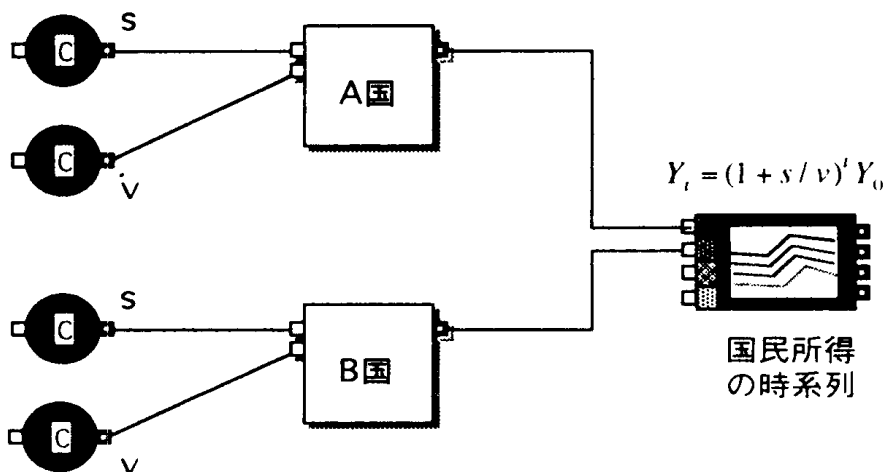
2 国モデル

もう一つの国を作り出すには、図16のPlotterアイコン以外の部分をコピーしてペーストし、図18のIcon paneのA国をB国に直し、図20のようにPlotterアイコンをB国と結べばよい。ここで2国間比較をするために表1のような数値を与えてみる。

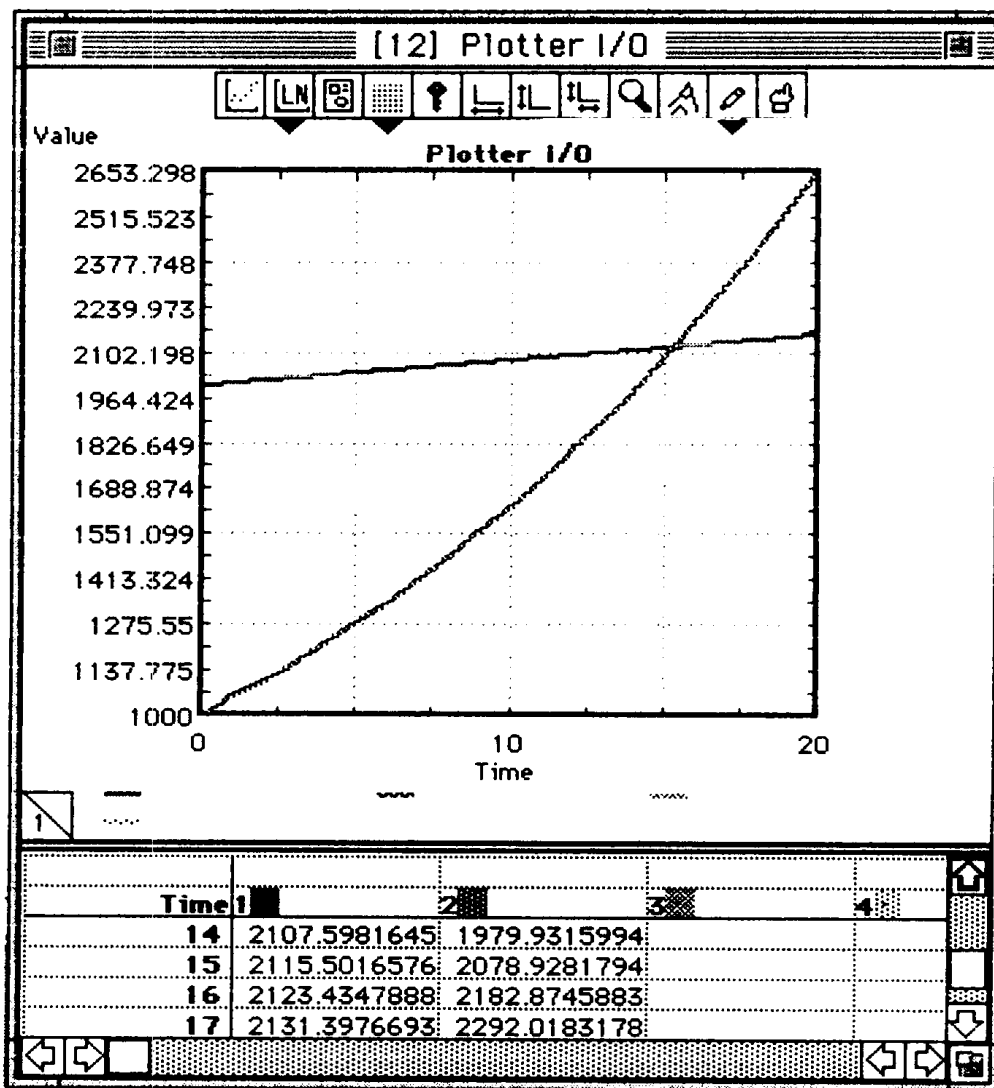
表 1

A 国	B 国
$s=0.03$	$s=0.20$
$v=8$	$v=4$
$Y_0=2000$	$Y_0=1000$

すなわちB国はA国の国民所得のちょうど半分、しかも資本係数が半分、しかし貯蓄率は約7倍というモデルである。両国の定数をこのように修正していき、シミュレーションをRunにする。結果は図21である。これから約15年でB国の国民所得がA国に追いつくであろうということが、一目瞭然に分かる。実際の数値をみると、15年とあと何カ月といったところである。ちなみにB国の国民所得は20年で初期値の約2.6倍になることも直ちにわかる。

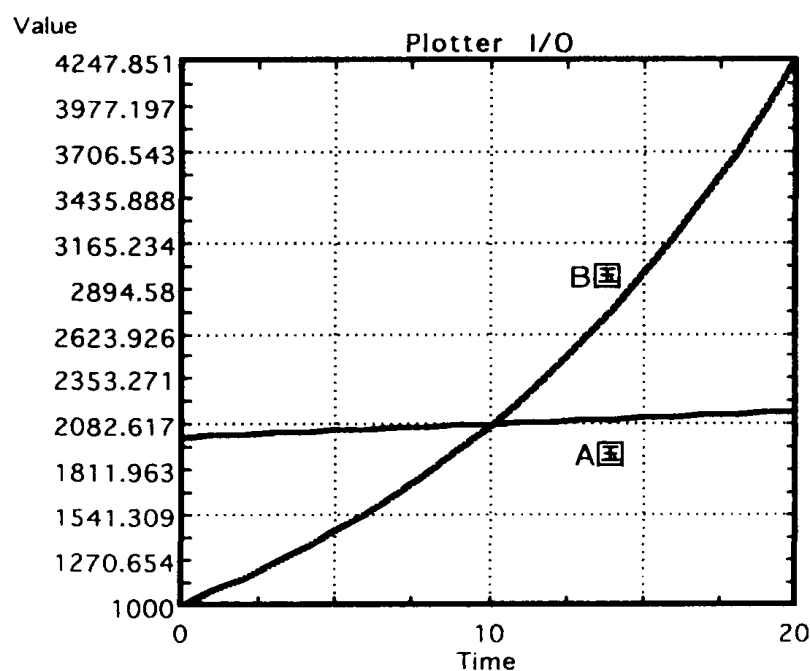


[図20 2国モデル]



[図21 2国モデルの結果その1]

Extend (EX・TD)による経済シミュレーション (荒木)



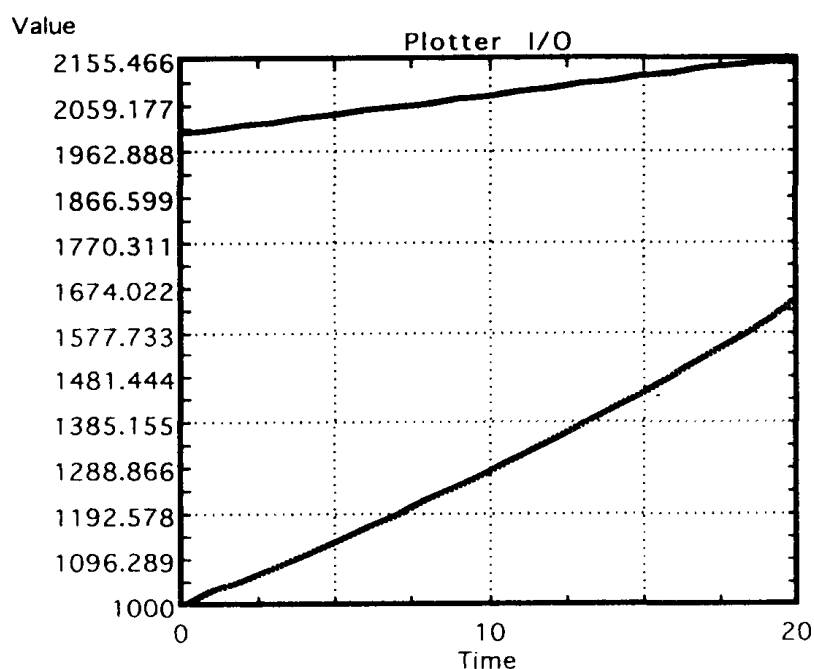
A... $s = 0.03, v = 8, Y_0 = 2000$

B... $s = 0.30, v = 4, Y_0 = 1000$

[図22 B国の貯蓄率が1.5倍に]

グラフィカルにシミュレーション結果を示すことの視覚的効果を見るために、B国の貯蓄率が1.5倍すなわち0.3になったとしてシミュレーションを行ってみよう。結果は図22の通りで、B国の国民所得は約10年でA国を追い抜くばかりでなく、20年たつとA国のおよそ2倍にまで成長するであろうということがわかる。

経済成長に対する資本係数の意味を確認するのも興味深い。例えば表1で仮にB国の資本係数が4ではなくA国の資本係数と同様の8であったとする。この想定は2つの国が初期時点で工業化の発達段階においてほぼ同様の生産構造を持っていたと考えることである。すなわちこのシミュレーションは工業の発達段階においてほぼ同様の2国があったとき、国民所得において半分の国が、貯蓄率約7倍という条件だけで20年以内に先行国を追い抜けるか、という問題の解答になるといえよう。シミュレーション結果は図23に示すとおりである。見てのとおり、20年ではとうてい追いつけないことがわかる。図21と図23の比較から言えることは、次のような推論であろう。「追いつき



[図23 資本係数が同じでは追いつけない]

問題」において資本係数の果たす役割は貯蓄率以上に大きい。貯蓄率が同じならば、資本係数が低い国、すなわち一般的にいつて工業化のあまり進んでいない国の方が、進んでいる国よりも先行国に追いつきやすい。あまり工業化が進んでいないが貯蓄率は高いといういわゆる「中進国」において高度成長が多くみられるのはこのためであると説明できる。

4. 最後に

以上見てきたことは、言うまでもなく、理論的にはすでに言い尽くされてきたことであり、改めて強調すべき結論ではないだろう。しかし例えば図21と図23の比較が物語るように、実際に視覚的にシミュレートしたときのインパクトは想像以上に大きい。アダム・スミス以来の「経済成長＝資本蓄積＝貯蓄」という連想からすると、経済成長に重要なのは貯蓄率という暗黙の先入感があって、資本係数のことはどこか心の隅に追いやられていたかもしれない。しかし実際に「やってみると」、資本係数は大変重要なのである。

とはいえ、Extendをこのようなトリビアルな問題の例示としてとどめて

Extend (EX・TD)による経済シミュレーション (荒木)

おくのはもったいない。実際にはExtendは全体の構造の低レベルの部分でほぼC言語に等しい言語 (ModL Scriptと称している) でプログラムされている。今回は示さなかったが、Extendではこのスクリプトを使って自由に複雑なルーチンを作り出すことができる。あらかじめ用意されていない部品は目的に応じてユーザーが自作することができる。しかもその外観はシンプルなアイコンで表され、使うときはただ線でつなぐだけである。従って、通常のパッケージ・ソフトとちがい、使い道がソフト発売者の意図の範囲内で閉じられずに完全に開かれている。ユーザーに応じて様々な部品やアプリケーションが無限に増殖していく。これは使い方次第で潜在的に大変な能力を持ったソフトであるといえる。次回以降はExtendをどのようにしてカスタマイズするか、もう少し複雑な経済動学的問題にどのように応用していくか、といったことがらに次第に話題を広げていきたい。