

マクロ経済モデルの協調型シミュレーション

(エコノディスカバリ)

山本 秀人 栗林 茂次 国重 誠之 小寺沢 輝三 岡本 敏雄

コンピュータ教育開発センター (C E C)

電気通信大学

東京都港区虎ノ門1の23の11 寺山パシフィックビル

あらまし マルチメディア、エキスパートシステム、ネットワーク等の技術を活用した教育用シミュレーションソフトウェアを試作した。本ソフトウェアは、第2次世界大戦後、現在に至る日本経済の仕組みとその推移を学習する。マクロ経済モデルにおける家計、企業、政府に対してそれぞれパソコンを割当て、システム全体を統括するパソコンとでネットワークを構成する。時代背景やシミュレーション結果等を映像、動画、グラフ等で可視化し、電子事典を持ち、ゲームを取り入れたシナリオで展開する。更に、先生が選択した教授方略と模範的生徒の学習過程をエキスパートシステムで支援する。

和文キーワード マルチメディア、エキスパートシステム、CSCW、シミュレーション、マクロ経済モデル、電子事典

Cooperative Simulations of Macro Economy Model

(econo-discovery)

Hideto Yamamoto¹ Sigeji Kuribayashi¹
Seiji Kunishige¹ Teruzo Koteraazawa¹
Toshio Okamoto²

Center for Educational Computing¹
The University of Electro-Communications²

7F Terayama Pasific Bldg. 1-23-11. Toranomon Minato-ku Tokyo 105¹

Abstract

We have experimentally developed a simulation-type educational software, in which a variety of advanced technologies such as multimedia, expert system, network etc are utilized. This software simulates the structure of Japanese economy and its transition since World War II until today. Under macro economy model, it composes a network by allocating PC's for the household, the enterprise and the government respectively, together with a PC which supervises the whole system. The software visualises historical backgrounds and results of simulations by employing such facilities as images, graphics, moving pictures and video movies, and develops stories along with the scenario which adopts game technique. It also has an electronic dictionary. Furthermore it assists by the expert system, the execution of teaching strategies selected by teachers, and of studying process performed by model pupils.

英文 key words

1. まえがき

本テーマは、情報処理振興事業協会殿から受託した教育用情報処理等の調査の中の「基礎技術を応用した教育用プログラムの開発技術・適用方法の検討」に関するものである。平成3年度以降の年計画で企画している。

昨年度は初年度として、教育用メディア等の現状調査、教育用ソフトウェアおよび諸技術の適用方法の基本検討と概念設計を行った。作業内容は分科会で審議した。分科会は学識経験者や各分野の専門家で構成されている。マクロ経済モデルの協調型シミュレーションの対象とする生徒は、中学校後半から高校生程度とし、教科横断型のシミュレーションプログラムを目指している。教育用プログラムとしての位置づけは第1表のように分類している。即ち、問題解決型の内容と知識を持ち、協調分散型（グループウェア的）による学習機能と設計を指向する内容を含むのが特長である。そしてプログラムの内容はロールプレイング的なゲーム性を持ったシナリオを考慮し、色々な面から条件を変えて（先生が設定する）学習出来るように作成することが求められた。グループ間の協調作業のやり方、問題解決のための予測能力の喚起等の教育目標を充足した。本年度は詳細設計を行

	シミュレーション ゲーミング	データ ベース	グループ ウェア	制作
設計				
問題解決				
スキル				
知識				

第1表 分類表

ってシステムの試作を行った。その一部が稼働したので概要を報告する。

2. マクロ経済モデル

マクロ経済をパソコンで分析するために、理論モデルを構築する。そのために、マクロ経済理論、経済統計データ、計量経済理論を使用している。経済の仕組み、経済の理論を習得させる手段として、家計や企業の行動、政府が立案して実行に移す政府の立場を解らせるための新しい試みを実施する。

2.1 マクロ経済モデルの変数

マクロ経済モデルの理論式は、線形一次連立方程式である。理論式の変数としては、パソコンからの入力対象と取り得る内生変数と、前もって環境条件として与えられる外生変数とがある。変数は各々14種類と18種類とし、第2表に示した（計算式は省略する）。

内生変数(例)	(記号)
消費	CR
実質GNP	YR
租税	TAX R
投資	IR
日本の金利	RJR
輸出	XR
輸入	MR
一般物価	YP
為替レート	RATE
一時間一人当りの賃金率	WHN
資本ストック	KR
失業率	UN
総労働時間	TLR
就業率	LD
外生変数(例)	
世界貿易の量	WTR
世界貿易の価格	WP
輸入材価格	MP
政府支出	GR
名目の貨幣供給量	MZN
アメリカの金利	RUSN
1974年10月半期を1として、その他 の値を2とするダミー変数	D741
1974年2月半期を1として、その他 の値を2とするダミー変数	D742
時間変数	TIME
人口	POP

第2表 内生変数と外生変数

経済統計データは国民経済計算体系（新SNA）のデータである。生産、分配、支出、国の貸借対照表で分析されている。

マクロ経済モデルでは、理論モデルを構築して、時系列データからパラメータの推定を行なう（年データで約20年間）。そのうえで計算を行い、実績値と計算値の比較を行なう。更に外生変数の変動による効果を分析する。各行動主体のパラメータの種類と推定方法については

省略する。

2.2 パソコンからの入出力項目

マクロ経済モデルの入力項目として、家計端末の場合、消費財では非耐久財、半耐久財、耐久財、サービス等がある。その例を表3に示した。その他住宅投資、貯蓄があり、次の段階として、貸上げ要求、時短要求を行なう。また常時出力されている項目は、税金、金利関係、前年度の消費財および歴史的実績値、住宅投資の累積、ゲームポイント（後述）、及び前年度のGDP伸び率とその歴史的実績値等である。他端末のデータもグラフや表として画面に表示することが出来る。

非耐久財	半耐久財	耐久財	サービス
食料	衣服	家電製品	光熱、水道
料理	履き物	住居	保健医療
日用品	観葉植物	家具	教養/娯楽
	テーブル	自動車	教育/本
		ピアノ	交通/通信
		自転車	

表3 消費財等の種類

3. システムの概要と基本仕様

本年度は昨年度の概念設計を基本設計として検討し、設計、試作を行った。開発、運用環境は今後を見込んで高機能のシステムを採用することにした。

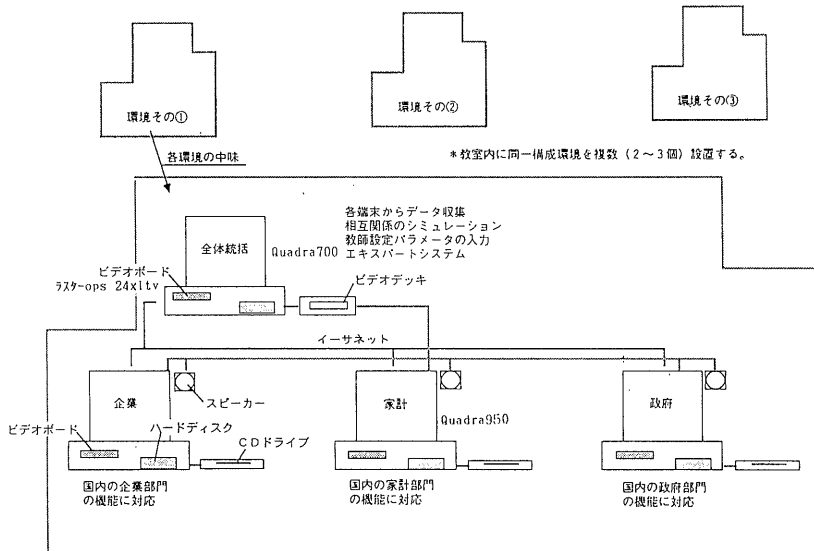


図1 システムのブロック図

3.1 システムの概要

図1図にシステムのアロク図を示した。統括パソコンと3つの端末パソコンとをイーサネットで結合し、制御データの入出力を高速に行なう。マルチメディアによる参照データ等は端末パソコン側に用意した。ビデオデッキは各時代の社会情勢を生徒に伝えるために常時の端末に出力している。音量調整やビデオ映像の切換えは端末側で自由に操作することが出来る。またCDドライブは電子事典の参照に使用して

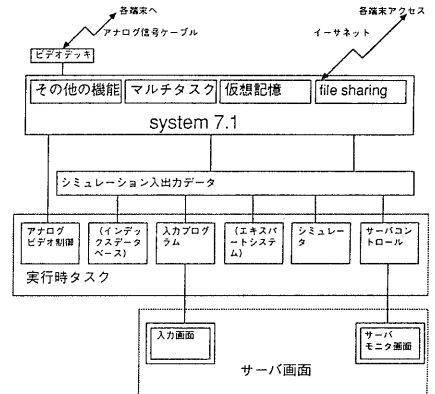


図2図 統括パソコンのソフトウェア構成。統括パソコンと端末パソコンのソフトウェア構成を図2図、図3図に示した。端末パソコンで使用する映像データは1種類につき15～30の画面分用意している。図4図に示した。

図で1ピリオドとは例えば1年に相当するシミュレーション期間の区分である。

マクロ経済のシミュレーションプログラムは過去の或時期からスタートして、リアルタイムに各ピリオドに相当する情報を表示しながら現在に向かって進行する。即ち、生徒は1ピリオド以内（1分～10分可変）に、必要な情報を検索して画面に表示したり、他端末の情報を呼び出して参照したりして、自分の

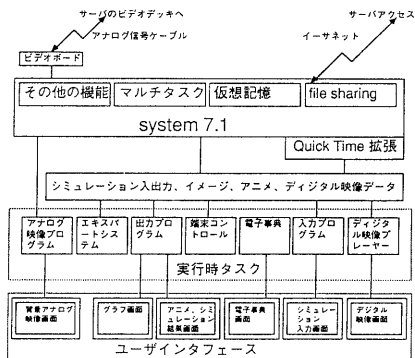


図3 端末パソコンのソフトウェア構成

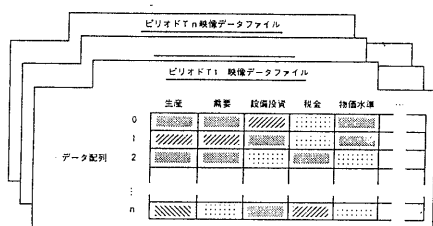


図4 映像データファイル

端末の入力項目に対して意志決定を行なう。1ピリオド内に入力出来なかったときは、歴史的事実のデータ(デフォルト値)が入力される。

また2種類のエキスパートシステムが機能しており、エキスパートAは先生が学習教材の種類を設定して行く際の教授方略に關係する。エキスパートBは模範的生徒の行動をとる。パソコン内部でのエキスパートBの入力結果は、生徒側で表示して見ることが出来る。但し、自己の入力行為の後に限られる。

3.2 システムの基本仕様

マクロ経済の行動主体として、3端末の仕様を次のように決めた。

(1) 家計

家計端末の行動目的は消費による満足度の追求である。消費が過熱すると物価が高騰し、金利が上り、消費行動の制約が厳しくなる。その結果物価は下落し、再び消費意欲を増す。このサイクルの中で生徒がどのような意志決定を行うかで、学習の結果が変わってくる。このデータから生徒の行動を評価する。

(2) 企業

企業の行動目的は利潤の追求である。そのために雇用水準、投資水準、研究開発費、借り入れ金の水準等を操作することである。

(3) 政府

政府の行動目的は財政収支の長期的なバランスを考慮しながら、生活環境の整備、雇用、物価の安定を目指すことである。

以上3つの端末の行動はGNPへの寄与の割合を指標として見ると、各端末間で競合状態をつくりゲーム性を引き出すことになる。そして1ピリオド内の或タイミングで、統括パソコンがデータを読み出すとき以外いつでも自由に入力操作が出来る。また端末へのビデオ出力のスケジュールは統括パソコンが行ない、各端末の生徒に魅力のある時代背景の映像を送る。ゲーム性の点から、各端末の行動評価は、家計ではGNPへの寄与率と消費生活の満足度、住宅投資による住居への満足度で採点される。企業と政府ではGNPへの寄与率で評価される。

4. 詳細設計

システムの操作の流れは、家計端末のシナリオで代表させた。そしてマクロ経済のシミュレーションプログラムにゲーム性を取り入れて、操作の結果を得点で評価することも出来るようにした。各端末の操作が円滑に行なえるようにまた学習内容の理解を助けるためにエキスパートシステムが機能している。以上を、マルチメディアの情報を駆使して、楽しく解り易い学習が出来るようにヒューマンインタフェースの充実をはかっている。次に各部の詳細について述べる。

4.1 家計端末のシナリオ

物語は第2次世界大戦の終戦後から始まる。(1) BGVウィンドウに焼け野原となった東京の状況が表示される。画面右上のタイマーは昭和20年8月を表示する。

(2) ゲームは戦後から今日までの日本の経済成長過程で生活する家庭を中心として、周辺に起るさまざまな出来事に対処して行く。その行為をマクロ経済モデルの家計端末の意志決定と見做し、他の企業端末、政府端末の入力データと合わせて経済シミュレーションを行なう。

(3) ゲームの主人公の人生設計を次のように定めた。

a、20才から28才まで実家で暮らし、大学を卒業して社会人になる。

b、28才で結婚し、借家(アパート)住いを

始める。

C. 37歳で一戸建の家を購入し、両親と同居する。

d. 50歳で家を改築する。子供の成長に合わせる。

e. 60歳で家を増築し、長男が結婚する。

以上の時間的推移を考慮して、ゲームのチェックポイントとしての性能を持たせる。この間に色々な社会的出来事を提示して生徒に学習させる。各々の端末の立場で、多くの情報を参照しながら判断し、1ピリオド内に意思決定をして入力を行なう。

4. 2 ゲーム展開の仕組み

ゲームは大別して2種類になる。家計端末にのみ設定したゲームポイントと全端末に関係するGNPへの寄与率である。

(1) ゲームポイントについて

家計端末の場合は、消費活動から得られる満足度、要求値が実現したときの満足度および住宅投資によって家の住み替えが可能になったときのボーナスルールによるゲームポイントとして定義している。ゲームでは高得点を得るように競争する。

α. 先づ満足度関数を次のように定義する。

$$\text{満足度} = w_1 \times CND + w_2 \times CSD + w_3 \times CDR + w_4 \times CSV + w_5 \times WH + w_6 \times (TH - H)$$

記号の意味:

w_1	非耐久財の消費の効用限界
w_2	半耐久財の消費の効用限界
w_3	耐久財の消費の効用限界
w_4	サービスの消費の効用限界
w_5	家計期末資産残高の消費の効用限界
w_6	余暇時間の効用限界
H	1人当りの年間労働時間 単位: 時間
WH	家計期末資産残高の合計 : 10億円
TH	家計可処分時間 : 時間
CDR	実質消費支出・耐久財 : 10億円
CND	実質消費支出・非耐久財 : 10億円
CSD	実質消費支出・半耐久財 : 10億円
CSV	実質消費支出・サービス : 10億円

満足度得点はゲーム期間毎に計算されて累積されて行く。ゲームポイントにはボーナスルールがある。

β. 家計端末で入力する項目のうち、賃金要求値 W^* 、労働時間短縮要求値 H^* が実現した

場合は次の条件によって満足度が変化する。

・要求値が実績値より高く、且つ1%以内のとき $\text{満足度} = \text{満足度} \times 1.1$

・それ以外るとき

$$\text{満足度} = \text{満足度} \times 0.9$$

C. 規定年令で家の住み替えが実現した場合に次の条件でゲームポイント(毎ピリオド計算値の累積)をN倍する。但し、住み替えが実現する条件は規定の期間の住宅投資基準値(歴史上の実績値)の累積に到達したときである。

規定年令より前のX年のときを-Xとし、X年経過後を+X年とすると、

・ $-3 \leq X \leq 5$ のとき $N(1 - 0.1X)$

・ $-5 \leq X \leq -3$ $1.3N$ 矣

(2) GNP寄与率について

GNPの増加要因は次の式によって求める。

$$GNP = \underbrace{C + CG}_{\text{消費}} + \underbrace{IH + IG + JP + JG}_{\text{投資}} + \underbrace{IP + E - M}_{\text{海外}}$$

ここで、

C	民間消費	JP	民間在庫投資
CG	政府消費	JG	政府在庫投資
IH	民間住宅投資	E	輸出増加
IP	民間設備投資	M	輸入減少
IG	政府投資		

民間消費(C)の増加要因は次の式によって求める。

$$C = CND + CSD + CDR + CSV$$

ここで、

CND	非耐久消費財
CSD	半耐久消費財
CDR	耐久消費財
CSV	サービスの消費

4. 3 エキスパートシステム

エキスパートシステムにはA、Bの2種類がある。エキスパートAは教授方略を担当し、エキスパートBは模範的生徒の役割になる。

(1) エキスパートA

システムを起動する前に例示に示す教授内容、教授方針のリストから適当な項目を選択する。

- ・為替レートの変動(円高、円安)の影響
- ・地価高騰の意味、その波及効果
- ・貿易摩擦の具体的意味

- ・公害問題と経済活動の関連
- ・インフレ、デフレの意味
- ・エネルギー問題（オイルショック）の経済活動との関連
- ・内需、外需拡大の意味
- ・金利の変動の経済活動に与える影響
- ・株価の暴騰、暴落と景気との関連
- ・高齡化社会と経済活動との関連

システムは、先生が選択した教授テーマに基づき、シミュレーションの全期間、テーマに深く関連する環境条件を設定する。統括パソコンで先生用に管理しているパラメータを誇張して変えることである。そのために生徒が設定するパラメータの変動を常時モニターしながら、ダイナミックに処理する。例えば円高の意味を学習テーマに選んだ場合、エキスパートAは、各ピリオドの開始時点で、パラメータ：EXRを倍率を調整し、輸入や輸出の水準に関連するパラメータの値を変更する。エキスパートAが介入した結果は、年表画面や出来事メッセージ画面に出力される。

家計端末に関係するルールベースは、家計の意思決定のための参考情報となる指標の水準についてである。即ち、

- 1、非耐久財、耐久財、半耐久財、サービスの民間消費デフレーター

- 2、直接税、間接税、貸出金利、預金金利

(2) エキスパートB

生徒と同じ立場になって、'消費と、住宅投資により満足度を高める'、と云う基本的行動目的に基づき、合理的な意思決定を行なう。与えられた環境で、ゲームポイントがより高くなる行動を目指したり、GNPの伸び率に占める家計の貢献度をより高くする行動を目指す。エキスパートBは、各ピリオドの開始時点で、必要なパラメータの水準を4エックして以下のパラメータの水準を決定する。

- | | |
|-------------|-----------|
| ・消費 | CV |
| ・住宅投資 | IH |
| ・貯蓄 | SH |
| ・労働時間要求値 | H* |
| ・賃金要求値 | W* |
| ・消費配分率：非耐久財 | β_1 |
| ・消費配分率：半耐久財 | β_2 |
| ・消費配分率：耐久財 | β_3 |

- ・消費配分率：サービス β_4

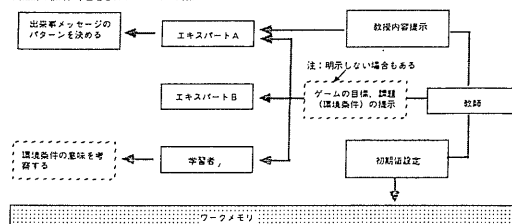
- ・可処分所得見込値 YD'

エキスパートBと生徒（プレイヤー）との関係は、各ピリオドの入力開始時点では、同じ条件である。従って各ピリオドのシミュレーション結果の比較に意味がある。エキスパートBの行動の例：

- 1、非耐久財の物価水準が基準値よりも1%高いときはサービスの消費割合を5%下げ、耐久財の消費割合を5%下げる。
- 2、サービスの物価水準が基準値よりも1%低いときはサービスの消費割合を5%上げ、耐久財の消費割合を5%上げる。

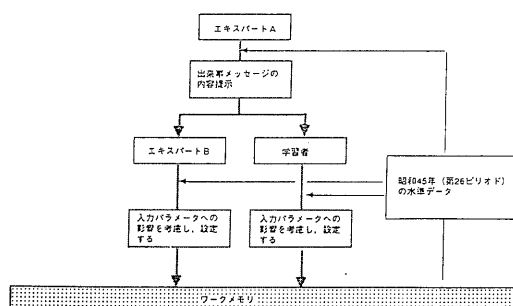
ゲーム開始前の先生、生徒およびエキスパートとの関係を第5図に示した。またエキスパートと生徒との関係を第6図に示した。

ゲーム開始前の先生、学習者とエキスパートの関係



第5図 先生、生徒、エキスパートの関係

昭和46年（第27ピリオド）におけるエキスパートと学習者の関係



第6図 エキスパートと生徒との関係

4. 4 ヒューマンインタフェース

画面の操作とデータ入力について述べる。

(1) 画面遷移

操作の手順は次のようになる。

- a. 基本画面で新しいエレメント出現
- b. そのエレメントをヒットしてスクEMATチック画面を表示。エレメントと対応するオブジェクト項目がブリンクする。
- c. その項目の上流側の項目が青、下流側が赤

でハイライトする。

- d. ハイライト項目をヒットしてグラフを表示する。モード切換えでディジタル映像を出力する。

上記基本画面は16地区に分かれて設計されているが、移動させて表示することが出来る。通常のシミュレーションは商業地区で行なう。時代の推移による経済成長と共に基本画面内に建物や自動車が増加して行く。これをエレメントと呼んでいる。

第7図は画面遷移の例である。CRT画面上の配置は、試作システムの動作画面の写真に示されている(写真1,2)。

(2) 入力画面

変化画面と操作盤の部分で入力を行なう。

a. 操作手順と設定の仕方

年表画面の情報と、基準値の情報から判断して、 $\beta 1$ から $\beta 4$ までのスライドスイッチで、各値の水準を決定すると、この時の対応イメージが画面上に現われる。1年前の可処分所得(Yd)に対して、加算される W^* を設定し、予算枠を仮定する。その中で、スライドスイッチを操作して $\beta 1$ 、 $\beta 2$ 、 $\beta 3$ 、 $\beta 4$ 、住宅投資

を設定する。残りが貯蓄となる。次に労働時間短縮要求値 H^* を設定する。

b. 意思決定のための検討事項

意思決定のための理論的メカニズムとしては次の点を考慮する。

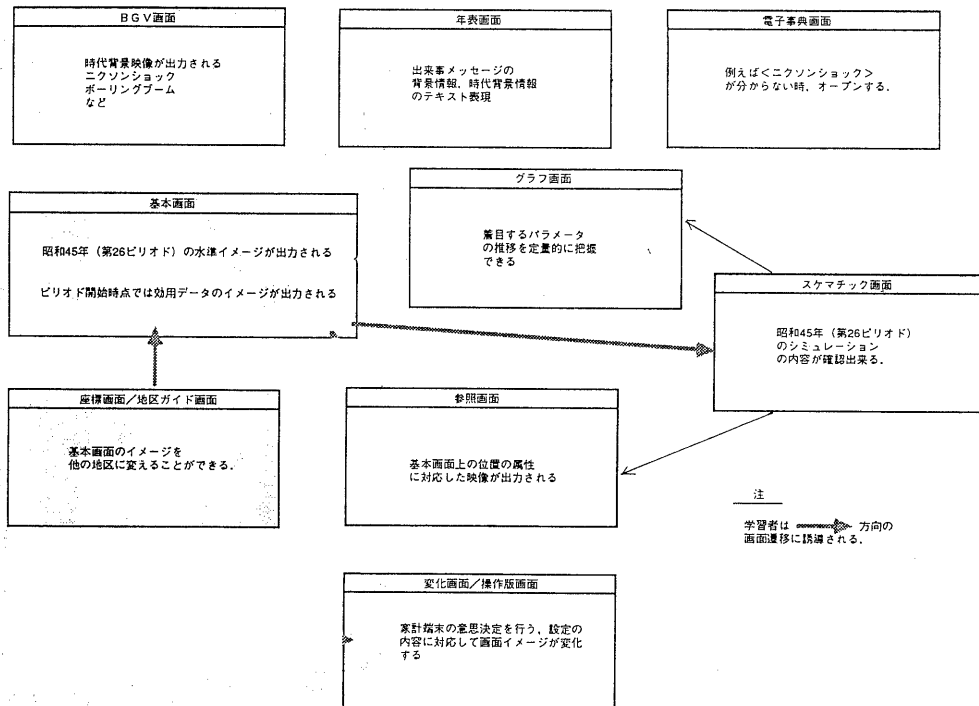
- ・物価水準高い時、非耐久財の水準を維持、耐久財、サービスを下げる。
- ・住宅投資水準を上げ、チェックポイントの通過を早期にする。
- ・貯蓄水準は維持する(基準値)よう努力する。
- ・消費水準は一定水準を維持する。GNPへの寄与と満足度を得るために必要。

変化画面は家屋内の情報で表示している。

5. 試作システム

マクロ経済シミュレーションソフトでは、3端末の生徒に、ゲームの各ピリオドで入力データを決定させ、自己の端末が他の端末よりも有利な結果を得るように行動させる。従って3端末は競合状態になる。

システムの動作は家計のシナリオのストーリーに従って推移するように作成している。生徒の身近な問題として家庭を先行してシミュレー



第7図 画面遷移(第26ピリオドの例)

ションする。今回は家計端末と統括パソコンの開発を行った。企業と政府の端末については歴史的事実の数値を統括パソコンに記憶しておき家計端末のシミュレーションが矛盾なく動作出来るようにした。システムブロック図を第1図に、プログラム構成図を第2図、第3図に示した。現在開発が終了した部分の諸元を第4図に示した。

項目	統括パソコン	家計パソコン	インターネット
実装RAM 容量	8MB(64MB)*	20MB(64MB)*	
固定ディスク容量	230MB	230MB	
シミュレータのパラメータ	250種類		
入力パラメータ		8(全30)種類	
先生設定パラメータ	10種類		
サンプリング時間			1~10分
伝送データ(10MHz)			テキスト
1ピリオドの処理時間	2秒以内		2秒以内
パソコンの種類	ワドラ700	ワドラ950	

第4表 試作システムの諸元

*拡張希望値

6. 考察

家計端末と統括パソコンの動作が可能となり他の端末もデフォルト値でシミュレーションすることが出来た。即ち、マルチメディアのシミュレーションをネットワーク制御で実現することが出来た。生徒が参照出来る情報は非常に豊富に用意されており、エキスパートシステムで学習の方向が導かれるので、インタラクティブ性が強く、深みのある学習が可能になる。

教育用ソフトとして教材内容を用滑に展開するには、現状では映像の表示に要する時間が長過ぎるので、色々の工夫が必要である。特にデジタル映像の動画に対しては、対象を絞る必要がある。同様に基本画面のアニメーションも遅過ぎる。パソコンの処理速度の技術的な限界を知って、教材提示としての映像の取扱い方を今後の課題として検討したい。またマルチスクリーンの中で、極く小さな変化は気付き難い。マルチスクリーンで映像が沢山表示されていても、故意に生徒に注目させる部分がないと、生徒が得る情報はそれ程多くはならない。操作中に気づかせる方法、考えさせる時間の取り方等直接教材内容に深くかかわっている。この辺の検討も重要である。映像の表示に要する時間が

長いのでその莫から音の使い方、その効用を認識する必要がある。

家計のデータ入力方法については色々検討したがスライドスイッチ方式に落付いた。一見複雑であるが、経済の前提知識として扱っている。またマウスで簡単に操作出来るので、何回でも入力の繰返し修正が出来る(1ピリオド以内)。なおこの部分については、今後もっと魅力的(メタファ等)な入力法等を研究して行く必要があると思われる。

7. 謝辞

本研究は、(財)コンピュータ教育開発センターに於けるシステム技術委員会の基に設立した「応用技術分科会」、主査、岡本、で検討を続けている。分科会の委員は次の方々であった(敬称略)。平成3年度、伊藤、内田、笠原、菊山、鈴木、高橋、田仲、永岡、米沢、平成4年度、阿部、河合、進藤、高橋、田仲、仲山、米沢、山形 各位には多大の御協力を戴いた。ここに厚く御礼申し上げる。またシステムの実際の設計、制作はアップロード(株)上田氏の御協力を戴いた。心から感謝する。

写真1

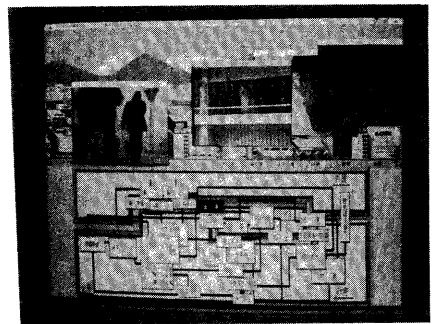


写真2

