

最近のシステム・ダイナミックス・

ソフトウェア

内野 明, 黒野 宏則, 椎塚 久雄

1. メインフレームのDYNAMOから パソコンへ

DYNAMOは、システム・ダイナミックス (SD) の対象とするモデルを表現し、そのモデルをコンピュータ上で実行するためのシミュレーション言語である。SDというとすぐにDYNAMOが思いつくくらい、SDとDYNAMOは切り離せないものとされている一方、モデル表現の容易性からDYNAMOは連続系のシミュレーション言語の代表的なものとしてされている。

このDYNAMOは、ForresterによってSDがインダストリアル・ダイナミックス (ID) として創案された当初より、IBMのメインフレーム上で動作する言語として、A.L.PughとE.B.Robertsを中心とするMITグループにより開発され[1]、以来Pugh-Roberts社より他のメーカーのメインフレームに移植されつつ提供されている。現在のメインフレームに提供されているDYNAMOは、DYNAMO IIおよびDYNAMO IIIのレベルである。

DYNAMO (あるいはSDというべきかもしれない) が、他の手法と比較してモデル表現上の容易性を持つことは昔も今も変わりはない。しかし、実行上の容易性という意味では当初の特徴が薄らぎつつあった。すなわちメインフレームを用いてコーディング、コンパイル、デバッグ、コンパイルの繰り返しでプログラムを作成し、さらにシミュレーションの特性上、モデルの変更・修正を何度も繰り返すのはかなり困難な作業とみなされるようになってきた。

うちの あきら 専修大学 商学部

〒214 川崎市多摩区東三田 2-1-1

くろの ひろのり 九州国際大学 法経学部

〒805 北九州市八幡区東枝光 5-9-1

しいづか ひさお 工学院大学 電子工学科

〒160 新宿区西新宿 1-24-1

コンピュータの発達とともに、より使いやすいソフトウェアが求められ、また、ハードウェアとしてもメインフレームからパソコン上の利用が求められるようになってきている。それに対応して、パソコンのBASICでSDモデルを表現したり、パソコンのBASICで動くDYNAMOシミュレータの開発が行なわれるようになった。Pugh-Roberts社も、DYNAMOのミニコンへの移植、さらにパソコンへということでの動きに対応している。パソコン上のDYNAMOということでは、当初はDYNAMOの機能を限定したもの (Tiny DYNAMO等) が作られたが、Professional DYNAMOではほぼ完全な機能が果たされ、さらにProfessional DYNAMO Plusでは、メインフレーム以上の機能が強化された形になっている。また、使い勝手という意味でも、単なるシミュレーション言語という意味から、シミュレーション用のソフトウェアというべきものに性格が変化してきているといえる。

本稿では、現在のSDシミュレーション・ソフトの代表であるProfessional DYNAMO PlusおよびSTELLAとBASIC言語にもとづいたSDシミュレータを紹介していく。なお、実際にそのソフトを用いてシミュレーションの実行を行なわなかったため、本稿で直接紹介しないものの、小林秀徳氏の開発したDYNAMO III [2] は、モデルの規模に制約を受けるものの、DYNAMOそのもののイメージでモデルを表現し、実行でき、しかも、日本電気のPC9800、東芝のJ3100、富士通のFM Rシリーズ上で動作するので注目される。

2. Professional DYNAMO

Professional DYNAMO Plusは、Pugh-Roberts, Inc.が開発・提供するシステム・ダイナミックスのモデル構築用、シミュレーション用のソフトウェアである。

Professional DYNAMO Plus (以下PD Plusと略す) は、従来のメインフレーム上のDYNAMOのもつさまざまなシミュレーション上の不便さを解消し、パソ

コン上で手軽かつ生産性の高いシミュレーションを可とする。処理結果の高速画面出力、デバッグ処理の容易さ、各種ユーティリティの豊富さにより、効率的で手軽なシミュレーション・ツールとしての役割を果たしている。システム・ダイナミクス手法の実践性が、このソフトの登場により飛躍的に高められたといえよう。

PD Plus のシステム構成の概略を表1に示す。通常はメニュープログラムであるPDを起動し、以下順にメニューにしたがって処理を選択していく。しかし、表1のED以下の各処理を直接DOSより起動することも可能である。

PD PlusのPDを起動した場合のメニューは、①Editから⑦Quitまでの7つになる。このメインメニューの状態を出発点にコマンドまたはサブメニューを選択していくことになる。たとえばこの中から⑤のToolsを選択した場合は、①Documentから⑦Quitまでを表示するサブメニューが、さらにサブメニュー中の④ Utility コマンドを選択した場合は、①Convertから⑥Quitまでのサブメニューが表示されることになる。以上の状態を表2に示す。

PD Plusにおける文法規則は、メインフレームのDYNAMO と方程式の時間添字の表示方法が一部相違する他はほぼ同じである。表3に時間添字の一覧を示すが、ここで下線を引いてある部分が、通常の DYNMO の表

表 1 Professional DYNAMO のシステム構成

実行時のファイル名と正式名称			実行内容
PD	P-DYNAMO User Interface		メニュー プログラム
ED	Editor	Edit	エディタ
CMLP	Compiler	Compiler	コンパイラ
SMLT	Simulator	Simulate	シミュレータ
VIEW	Viewer	View	実行結果(図あるいは値)の表示
REP	Report Generator	Tools (この欄はメニューから呼び出す時の表示)	実行結果を任意の形で出力
DOC	Documentor		プログラムを任意の形で出力
DYNEX	Dynex		Executive User Interface
TRANS	Translate		ファイル形式の変換

表 2 PDからのコマンドの体系

PD.....	① Edit	→ Editor	① Document	① Convert		
	② Compile	→ Compiler			② Report	② Reformat
	③ Simulate	→ Simulator			③ Dynex	③ Translate
	④ View	→ Viewer			④ Utilities...	④ Help
	⑤ Tools	→ Tools.....			⑤ Help	⑤ Esc
	⑥ Help	→ PD Help			⑥ Esc	⑥ Quit
	⑦ Quit	→ Back to DOS			⑦ Quit	

記ではJKとなっている。したがって、方程式の計算順序に関して細かい相違があるといえるが、間隔を細分化してシミュレーションを行なうことを考えれば、事実上通常の DYNAMO と同じ結果が得られる。なお、通常の DYNAMO で表記されたモデルのプログラムを PD Plus に変換することはシステムに組み込まれたユーティリティ機能を用いることによって可能である。使用可能な関数などの言語としての機能は、通常の DYNMO とほぼ同等か、配列その他について、より強化されている。

表 3 Professional DYNAMO の方程式の時間添字

方程式のタイプ		時間添字 (左辺)	時間添字 (右辺)						
			L	A	R	S	C	T	N
L	レベル	K	J	J	JK	x	nt	nt	nt
A	補助	K	K	K	<u>KL</u>	x	nt	nt	nt
R	レート	KL	K	K	<u>KL</u>	x	nt	nt	nt
S	サブプリメント	K	K	K	<u>KL</u>	K	nt	nt	nt
T	テーブル	nt	x	x	x	x	x	x	x
N or K	初期値	nt	nt	nt	nt	x	nt	nt	nt

nt = not time script, X = not permitted here

PD Plusにおいては、作成したプログラムのコンパイル時にエラーがあると、エディタ画面に戻って、しかもエラーメッセージつきでそれぞれのエラー箇所を順に表示してくれるので、その場でエラー修正が可能である。また、コンパイル後、初期値、定数、テーブル関数等の値を変えながら、連続的にシミュレーションが可能などなどを考慮すると、メインフレームの DYNAMO とは

“使い勝手”，言い替えると“モデルの開発効率”に雲泥の差が生じることになる。また，シミュレーション結果を整理して表示(印刷も含めて)する報告書作成機能や，ビジネスにおけるエグゼクティブへの情報加工機能，他のソフトウェアへの出力結果の受渡し機能など，全体としてシミュレーション用のソフトウェアとして見習うべき完成された体系を持つものであるといえる。

しかし，惜しむらくは IBM PD 互換のパソコン上でしか動作しないこと，メインフレームの DYNAMO 以上の機能を持つためのソフトウェアとしての価格の高さにある。米国では，後述の STELLA がポピュラーなシミュレーション用ソフトウェアとして広く普及しているのに対して，PD Plus は，依然として大学等の研究機関におけるシステム・ダイナミックスの研究成果のまとめ用というイメージがある。この理由は価格差ばかりでなく，STELLA がフローダイアグラムを画面上で表示・作成できるのに対して，PD Plus がシステム・ダイナミックスのモデル構築のプロセス上は従来の延長線上にあるのも一因である。このような点を考慮にいれても PD Plus をひとたび利用してしまうと，もはや従来のメインフレームの DYNAMO を使う気が全くなくなるのは筆者だけのケースではないと思われる。(内野 明)

参 考 文 献

- [1] Pugh, Alexander L. III, *DYNAMO User's Manual*, 5th ed., MIT Press, 1976
- [2] 宮川公男・小林秀徳,「システム・ダイナミックス——経管・経済系の動学分析——」,白桃書房, 1988年
- [3] *Professional DYNAMO Plus INTRODUCTION GUIDE and TUTORIAL*, Pugh-Roberts Associates, INC., 1986
- [4] *Professional DYNAMO Plus REFERENCE MANUAL*, Pugh-Roberts Associates, INC., 1986

3. STELLA

—1989年J.W.フォレスト賞受賞—

Stellaを辞書で引くと，ステラという女子の名で，形容詞stellarは，“星の，花形の，第一流の，すばらしい”，という意味がある。STELLAには，Structural Thinking, Experiential Learning Laboratory with Animation (アニメーションによる構造的思考と経験学習のための実験研究用具)の意味が込められ，システム・ダイナミックスに依拠したシミュレーション・モデル

を Macintosh でビジュアル・プログラミングにより実行するソフトウェアである。製作販売はダートマス大学助教授バリー・リッチモンド氏が社長の High Performance Systems 社である。C 言語で書き直された STELLA II が本年発表されたが，経過を示す。

STELLA V 1.2:1985年8月発売開始/STELLA V 1.3:1987年7月 Mac Plusに対応/STELLA V2.0:1988年4月，ユーザーガイド分離(ビジネス版・アカデミック版)，処理速度15倍以上の Mac II用ソフト追加/STELLA V2.1:1989年3月同時に STELLA Stack V2.1を新発売。ことに STELLA Stack V2.1は，Hyper Card のスタックウェア(Stackware)で，STELLA とのユーザーインターフェイスとして力を発揮する。アニメーションの多様化，感度分析や最適解の探求および離散プロセス(待ち行列)シミュレーション実行などの簡便化，を実現している。

STELLA には，4つのウィンドウがある。モデルはダイアグラム・方程式ウィンドウで作成し，実行結果はダイアグラム・グラフ・テーブルウィンドウに表示する。

従来より，システム・ダイナミックスでのモデル作成と実行は，紙にダイアグラムを描き，これを DYNAMO 言語の方程式に手作業で一对一に変換しコンピュータで実行する。STELLAは，このような作業工程を一変させた。ダイアグラムは，電子キャンバスとでも言うべきダイアグラムウィンドウにアイコンを使って描く。このダイアグラムに対応して一部自動的に作成される方程式は対話ボックスで定義していく。アイコンの中の?がすべて消えれば方程式は完成である。対話ボックスは，ダイアグラムウィンドウ・方程式ウィンドウの双方から開けられる。

アイコンとは，機能をわかりやすくデザイン化した絵文字のことである。STELLAのアイコンには，ダイアグラムを描く「構造化要素」，描く作業に使う「ツール」とがある(図1を参照)。

「構造化要素」には，システム・ダイナミックスのレベルに対応するストック，レイトに対応するフロー，補助変数/定数/グラフ関数に対応するコンバータ，情報のフローに対応するコネクタ，の4つがある。STELLAでは，フローは，コンバータがパイプにバルブで取り付けられている。フローを描くと，その端にはシンク/ソースに対応する“雲”が現われる。「ツール」には，アイコンの移動などに使うハンド，アイコンを複写するゴースト，アイコンを消去するダイナマイト，の3つがある。

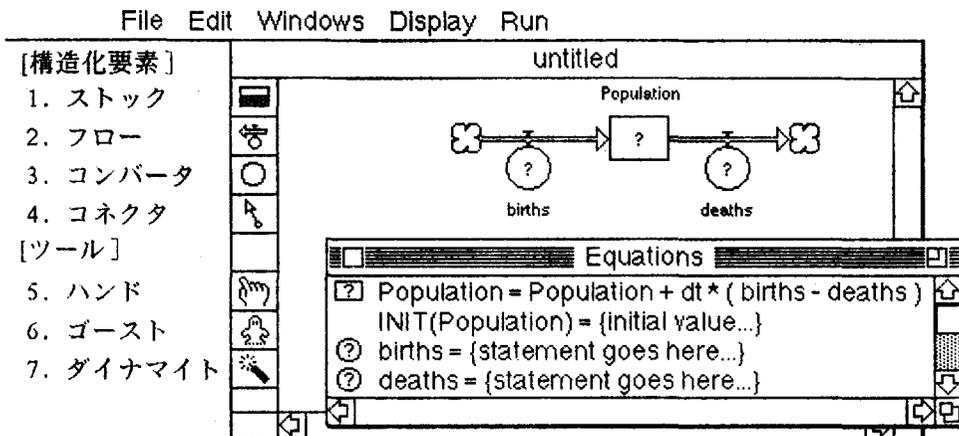


図 1 STELLA のダイアグラムウィンドウと方程式ウィンドウ

モデルの実行結果を表示するダイアグラムウィンドウは、数値の変動をアイコンの中にアナログにアニメーションで示す。グラフウィンドウは、時系列と散布図を表示する。テーブルウィンドウは数値を表示する。1Mメモリーの場合およそ2000個のアイコンからなるダイアグラムを設定でき、残りのメモリーの許す限り計算数値やグラフはすべて記憶される。

(黒野宏則)

参考文献

- [5] 黒野宏則・中川倫明：「STELLAとOA」, オフィス・オートメーション, Spring, 1988, Vol.9, No.1.
- [6] 黒野宏則：「資料：STELLA V1.2のワークショップ」. 九州国際大学論集法経研究, 1989年7月, 第1巻第1号.

4. BASIC言語にもとづいたSDシミュレータ

多くの人がプログラミング経験のある“BASIC”でパソコンを使ったSDモデルの構築とシミュレーションができれば、SDをさらに身近なものにすることができることは言うまでもないであろう。

そのような試みとしては、小玉[7]によるものが最初であるが、初心者向けの教育用という点では難があるようである。その後、林[8]によってBASICでDYNAMO的な記述ができるシステム (BASIC・DYNAMO) が開発された。さらに、椎塚・麻生・土屋[9]によってBASICのもつグラフィック機能を十分に取り入れたシステム (BYNAMO) も開発されている。

本稿では、BASIC・DYNAMOとBYNAMOの2つ

のシステムの概要を紹介する。いずれも BASIC 言語に準拠した DYNAMO 的記述という点では共通するところが多い。

BASIC・DYNAMO：利用者は DYNAMO の言語に似せた BASIC の代入文のみでモデルを記述し、システムはそれを BASIC プログラムとして実行している。このシステムは次の4大機能で構成されている：①モデルの入力・編集・登録・構文チェックおよび実行管理を行なうOS；②モデルの実行；③結果の表示・出力；④各種維持・管理システム。

DYNAMO で行なっているような文頭文字による方程式などの区別は、たとえば、8000番台はレベル方程式、7000番台はレイト・補助方程式、9000番台は初期値設定・定数方程式およびテーブル文として識別される。ただし、文の記述順序は DYNAMO のように自由ではない。変数名は BASIC で許される範囲で自由に選ぶことができる。ただし、Zで始まる変数名を用いることはできない。また、基本的な組込関数はすべてサポートされている。

BYNAMO：基本的な機能はBASIC・DYNAMO とほぼ同じであるが、BYNAMO の特徴はパソコン上の BASIC のもっている機能をフルに活用している点である。BYNAMO は、プログラミング経験の浅い初心者でもSDモデルの構築とシミュレーションが容易にできることを意図して開発されている。このシステムの主な特長としては、①BASIC 言語の簡単な代入文だけでほとんどのモデルの記述ができる、②PC-9801シリーズの豊富なグラフィック命令を用いてきれいなグラフを出力として表示できる、③マルチウィンドウの使用により、オペレーション効率が良い、④BASIC 言語の組込関数

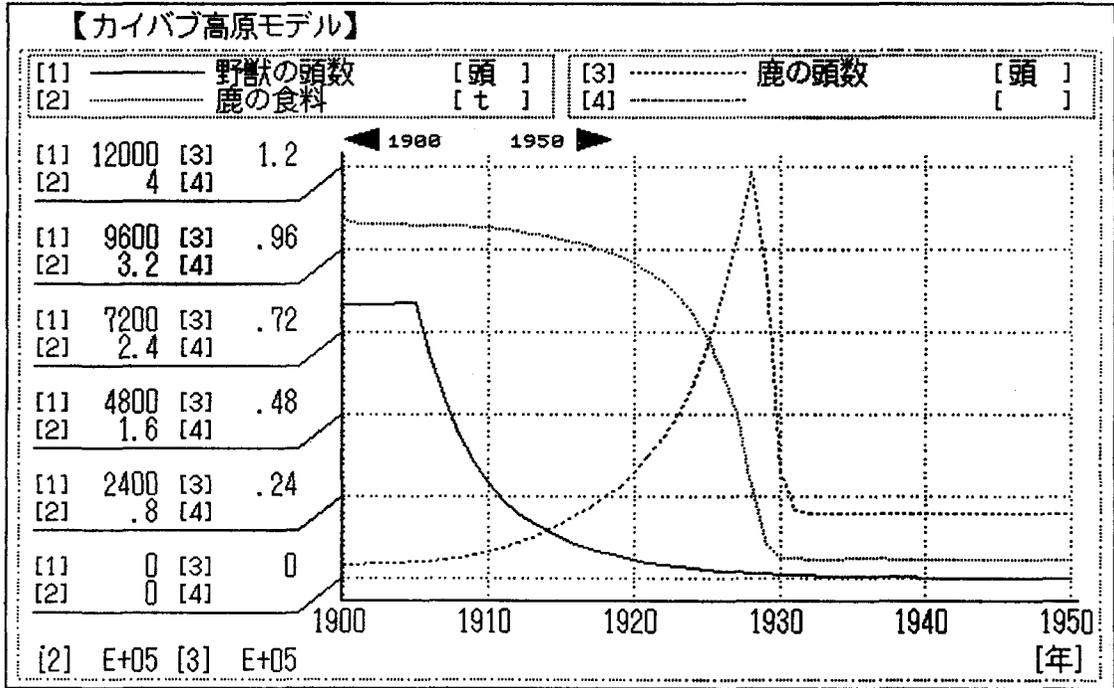


図 2 シミュレーションの出力結果の例

の他に、モデルを作りやすくするための利用者関数を定義している、⑤BASIC 言語のほとんどの命令が使用できるので、本システムを利用者に合ったシステムに変更可能、などが挙げられる。

BYNAMOを用いたシミュレーション例(カイバブ高原モデル)の出力結果を図2に示す。

なお、BYNAMOを使用してみたいという方は、5インチFD(2HD1枚)および返信用封筒(切手貼付)を同封の上、筆者宛ご連絡ください。(椎塚久雄)

参 考 文 献

- [7] 小玉陽一：“パソコンBASICシステムダイナミックス”，東海大学出版会，1985年12月。
- [8] 林 亜夫：“教育用連続型シミュレーション・システム”，オペレーションズ・リサーチ，Vol.31，No.10，pp.637-646，1986年10月。
- [9] 椎塚久雄・麻生隆夫・土屋正寿：“教育用システム・ダイナミックスシミュレータ”，工学院大学研究報告第62号，pp.225-230，1987年4月。

『会員名簿』刊行のお知らせ

1990年度版会員名簿の編纂をすすめており、本年11月末に発行を予定しております。この名簿は、単に会員の方々の氏名の掲載に止まらず、学会諸規程、歴代会長・名誉会員・現役員・評議員等氏名、学会賞受賞者一覧、所属機関別名簿等の掲載を予定しており、会員皆様方相互の情報交換等にお役に立つのではないかと思います。会員の方々への限定刊行で、すでに多数の会員の皆様からご予約いただき

ましたが現在、引き続き購入予約申込受付中(学会事務局)ですのでご希望の方はハガキでお申込みくださるようお願いいたします。(予約価格1,500円、一般価格2,000円)

なお、会員諸氏の住所・勤務先等の変更訂正は、10月5日までにお知らせ戴いた分までとさせていただきます。すでに印刷作業に入っており、11月末までには発送する予定です。