

シミュレーション言語の構造解析への応用

関西大学工学部 正会員 〇三 上 市 蔵
 大阪市立大学工学部 正会員 中 井 博

ま え が き Digital Computer の 発 達 は 目 覚 ま し く、構 造 解 析 に 不 可 欠 の も の と な っ て い る が、一 方 Analogue Computer も 多 く の 貢 献 を し て き た。1960年 頃 が そ の 絶 頂 で、初 期 値 問 題・境 界 値 問 題・固 有 値 問 題 の 解 析、代 数 方 程 式 の 求 解、非 線 形 問 題 の 解 析 な ど 広 範 囲 に 利 用 さ れ た。¹⁾ 比 較 的 変 動 の 激 し い 過 渡 現 象 で も 容 易 に 解 が 得 ら れ る こ と、解 が Analogue 量 と し て 得 ら れ る の で 計 算 結 果 の 妥 当 性 を 直 ち に 照 査 で き る こ と、ま た パ ラ メ ー タ を 種 々 変 化 さ せ た と き の 応 答 特 性 を 容 易 に 検 討 で き る こ と な ど 多 く の 利 点 が あ る。し か し、解 の 精 度 が 0.1% 前 後 と い う 制 約 を 受 け る こ と、発 展 が 部 品 の 性 能 に 依 存 す る こ と な ど 限 界 が あ る。

計 算 方 式 あ る い は 計 算 技 術 の 面 で 一 つ の 新 し い 方 向 と し て 生 ま れ た も の に Hybrid Computer が あ る。こ れ は Digital Computer と Analogue Computer の 利 点 を 組 合 せ た も の と い え る。他 方、Analogue Computer が 得 意 と す る シ ミ ュ レ ー シ ョ ン を Digital Computer で 行 う た め の ソ フ ト ウ ェ ア は シ ミ ュ レ ー シ ョ ン 言 語 が 1960年 代 初 め に 相 次 い で 開 発 さ れ、そ の 後 も 発 展 し て い る。

シ ミ ュ レ ー シ ョ ン 言 語 に は 連 続 系 シ ミ ュ レ ー シ ョ ン 言 語 と 離 散 系 シ ミ ュ レ ー シ ョ ン 言 語 と が あ る が、構 造 解 析 の 場 合、微 分 方 程 式 で 表 現 さ れ る 連 続 系 プ ロ セ ス の た め の 連 続 系 シ ミ ュ レ ー シ ョ ン 言 語 が 興 味 の 対 象 と な る。以 下 で は、こ の 言 語 を 用 い て 振 動 問 題 お よ び 熱 伝 導 問 題 を 解 き、こ の 言 語 の 構 造 解 析 へ の 応 用 の 可 能 性 を さ ぐ る も の で あ る。

連 続 系 シ ミ ュ レ ー シ ョ ン 言 語 Analogue Computer は 加 算 器、積 分 器、各 種 関 数 発 生 器 な ど の 部 品 と 備 え て お り、利 用 者 は あ ら か じ め 作 成 し た プ ロ ッ ク・ダ イ ヤ グ ラ ム に 従 っ て 各 部 品 を 結 線 し て 回 路 を 形 成 し、操 作 し て 所 要 の 結 果 を 得 て い た。連 続 系 シ ミ ュ レ ー シ ョ ン 言 語 は、Analogue Computer と 同 様 な 分 析 を Digital Computer で 行 う た め の プ ロ グ ラ ム 言 語 で、FORTRAN を ホ ス ト 言 語 と し て お り、積 分 器 な ど に 対 応 す る 関 数 プ ロ ッ ク の 組 合 せ で モ デ ル を 構 築 す る。

現 在、利 用 可 能 な 連 続 系 シ ミ ュ レ ー シ ョ ン 言 語 と し て は、I B M の CSPMⅢ (Continuous System Modeling ProgramⅢ)、ACOS の CSPL (Continuous System Programming Language)、HITAC の DDSⅢ (Digital Dynamic SimulatorⅢ)、FACOM の ADSL/X (Analogue to Digital Simulation Language/eXtended)、Burroughs の BCSS (Burroughs Continuous System Simulator)、MELCOM お よ び COSMO の SL-1 (Simulation Language-1)、UNIVAC の CSSL1100 (Continuous System Simulation Language 1100) な ど が あ る。²⁾

こ こ で は、関 西 大 学 電 子 計 算 機 室 の FACOM Z30-48 を 用 い、オ ペ レ ー シ ョ ン・シ ス テ ム OSⅡ/VS の も と で ADSL/X を 利 用 し た。

ADSL/X シ ス テ ム³⁾ FACOM Z30 シ リ ー ズ お よ び M シ リ ー ズ を 対 象 機 種 と す る シ ス テ ム で、通 常 の 処 理 で は、翻 訳 処 理 部 (ADSL 言 語 で 記 述 さ れ た ソ ー ス プ ロ グ ラ ム を 翻 訳 処 理 し、FORTRAN ソ ー ス プ ロ グ ラ ム を 作 成 す る)、FORTRAN コ ン パ イ ラ (FORTRAN ソ ー ス プ ロ グ ラ

ムを翻訳して、相対形式プログラムを作成する)、リンケージエディタ(相対形式プログラムとADSL関数ライブラリを結合し、実行形式プログラムを作成する)、実行処理部(翻訳処理部から渡されたデータ文制御文に従って、シミュレーションを実行する)の順に起動する。入力されたソースプログラムを時刻に関して正しい計算順序になるように並びかえる順序づけ機能があるので、利用者は文の計算順序を意識しないでプログラミングできる。9種の積分法が準備されており、自由に選択できる。ラインプリンタ装置とXYプロッタ装置への出力が可能で、前者に対しては表形式、グラフ形式など5種の出力形式が用意されている。

振動問題 例題として、1自由度系および2自由度系の自由振動、減衰自由振動、強制振動および減衰強制振動を解き、不規則外力の例として1自由度系の強制振動を扱った。また、実例としてスパン29.4m、曲率半径40mの2等径間連続曲線箱桁橋の自由振動を解き、Analogue Computerによる解⁴⁾と比較した。詳細な検討として、1自由度系の強制振動を例に9種類の積分法による解を比較し、2自由度系の自由振動を例に積分時間間隔 Δt と解の精度の関係を調べた。

1自由度系の減衰強制振動の場合、振動方程式は次のように書ける。

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{g}{W} \left(-C \frac{dy}{dt} + P_0 \cos \omega t - ky \right) \quad (1)$$

初期条件 $t=0$ で $y=5(\text{cm})$, $\frac{dy}{dt}=0$

(cm/sec)と定数 $W=2 \text{ kg}$, $k=1 \text{ kg/cm}$,

$g=980 \text{ cm/sec}^2$, $P_0=1.0204 \times 10^{-3} \text{ cm}$, $\omega=15.708 \text{ rad/sec}$, $C=0.01 \text{ kg}\cdot\text{sec/cm}$ とに対して式(1)をADSL言語でプログラムを組むと図-1のようになる。

```
* FORCED VIBRATIONS WITH VISCOUS DAMPING (ONE DEGREE OF FREEDOM)
LABEL FORCED VIBRATIONS WITH VISCOUS DAMPING (ONE DEGREE OF FREEDOM)
TITLE FORCED VIBRATIONS WITH VISCOUS DAMPING (ONE DEGREE OF FREEDOM)
INCON A=0.0,B=5.0
CONST W=2.0,K=1.0,G=980.0,PO=1.0204E-03,OM=15.7080,C=0.01
TIMER FINTIM=0.5,DELT=0.001,OUTDEL=0.005,PRDEL=0.005
Y2DOT=(-C*YDOT+PO*COS(OM*T)-K*Y)*G/H
YDOT=INTGRL(A,Y2DOT)
Y=INTGRL(B,YDOT)
T=ZZTIME
PRINT Y,YDOT
OUTPUT Y,YDOT
END
STOP
```

図-1

以上の振動問題に対して $\Delta t=0.001$ で誤差0.1%以下の解が得られた。曲線桁橋の場合、1, 2次モードの解を得るとしてもADSLプログラムは30行である。

熱伝導問題 連続体の場合、場を差分法によって離散化すると多自由度系が得られ、偏微分方程式は時間に関する常微分方程式系に書きかえられるので、ADSL言語を適用できる。その例として正方形の平面内で中央点に熱を与えた場合の熱伝導問題を解いた。この場合でもADSLプログラムは36行にしかない。

むすび 連続系シミュレーション言語はプログラミングの効率および解の精度の点からきわめて有効である。また、会話型処理が可能のように拡張もされつつあり、今後大いに利用されてよい。ただし、ADSL/Xの場合、原則として1次元配列に限定されており、これが広範囲な工学問題への適用上の制約になっている。

1) Fifer, S.: Analogue Computation - Theory, Techniques and Applications, Vol. I-IV, McGraw-Hill, 1961.

2) 大瀬貴宏: シミュレーション, bit, 臨時増刊, Vol. 9, No. 9, 1977-7.

3) FACOM ADSL/X 解説書, 富士通, 1976.

4) 小松・中井: アナログ計算機による曲線桁橋の動的応答解析, 土木学会論文報告集, No. 178, 1970-6.