

JAERI-M

4 7 0 3

任意初等関数の発生方法および
その応用プログラム：L S Q R

1972年2月

堀 上 邦 彦・辻 本 巍

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

任意初等関数の発生方法およびその応用プログラム：LSQR

日本原子力研究所東海研究所

原子炉工学部 堀 上 邦 彦

動力試験炉開発室 辻 本 嶽

(1972年1月31日受理)

演算子をフォートランプログラムの入力とすることによって、任意な初等関数を発生させる方法を考案した。その応用として最小二乗法によりカーブフィッティングの問題を解くプログラムを作成した。関数型は初等関数の範囲内で任意であり、線型、非線型両方の問題を解くことができる。解法はニュートン法を用いた。

JAERI - M 4703

A Procedure for Generating an Arbitrary Elementary Function
and its Application Program, LSQR

Kunihiko HORIKAMI

Div. of Reactor Engineering, Tokai, JAERI

Iwao TSUJIMOTO

Div. of JPDR, Tokai, JAERI

(Received 31 January 1972)

The method has been developed which generates an arbitrary elementary function in Fortran program with operators as the input. As its application, Fortran program LSQR was prepared, which can solve curve fitting problems by the method of least squares. The type of approximating function can be arbitrary as far as it an elementary function. By Newton's method, both linear and nonlinear problems can be solved.

目 次

1 関数を発生させる方法	1
2 応用プログラム L S Q R	4
2.1 解 法	4
2.2 プログラムの説明	8
2.3 入力の説明	11
2.4 計算例および計算時間	14
3 むすび	24
参考文献	24
プログラムリスト	25

1 関数を発生させる方法

我々が通常用いている初等関数にはいろいろなものがあるが、これらが、その独立変数に対する如何なる操作によって生ずるかを分析し、すべての初等関数を構成するに要する操作(演算)の基本的な単位(演算子)を見つけることができれば、任意の初等関数はこれらの演算子を次々に独立変数に施すことによって発生させることができる。

初等関数は、基本的には独立変数に対するつきの三つの演算の組み合わせによって構成される。

- (1) 加 算
- (2) 乗 算
- (3) ベキ算

これらの基本演算をフォートランで表現するために、さらにつきのように細分化する。

- (1.1) 独立変数またはその関数に定数を加える。
- (1.2) 独立変数またはその関数に関数を加える。
- (2.1) 独立変数またはその関数に定数を乗ずる。
- (2.2) 独立変数またはその関数に関数を乗ずる。
- (3.1) 独立変数またはその関数の定数ベキをとる。
- (3.2) 独立変数またはその関数の関数ベキをとる。

したがって基本的には、フォートランプログラムで任意の初等関数を表現しようとなれば、これら6種類の演算子を適当な順序で入力すればよい。この他に実際上しばしば用いられる関数としてフォートランで準備されている基本外部関数のうち、以下に掲げる関数に対しては、それを呼び出す操作をも便宜上、補助的な演算子として加えることにする。

- (4) e^x に対する関数ベキをとること。
- (5) 関数の正弦関数をとること。
- (6) 関数の余弦関数をとること。
- (7) 関数の逆正弦関数をとること。
- (8) 関数の逆余弦関数をとること。
- (9) 関数の自然対数をとること。

以上の操作(1.1)～(9)をつきのように記号化する。

- [1.1] +C
- [1.2] +Z I
- [2.1] *C
- [2.2] *Z I
- [3.1] **C
- [3.2] **Z I
- [4] EXP

- [5] SIN
- [6] COS
- [7] ARS I
- [8] ARCO
- [9] LOG

フォートランプログラムで、或る関数値を計算するとき、そこで用いられる定数および変数はすべて実定数、実変数で計算するものとする。すると(3.1)で不都合が生ずる。フォートランでは〔底が負数〕の〔実数ベキ〕は許されない。たとえば $(-3.0)^{2.0}$ はエラーになる。この場合は指数を整数化したのち、ベキ算を行わなければならない。このような事情を考慮して、つきの演算子を追加する。

[3.3] ** I O

これは指数を整数化したのち、ベキ算を行うことを意味し、内容は(3.1)と同じである。

つぎに[1.2], [2.2], [3.2]に現われるZ Iはつきの考察にもとづく演算子である。すなわち、一般の関数を[1.1], [2.1], [3.1], [4]～[9]の累積だけで表現しようとすれば、演算の途中の値を定数として保存しなければならない場合が生ずる。その保存された定数と、その定数に対して用いられる演算とを直接対応づけることは困難である。この問題を解消するために、与えられた関数を[1.1], [2.1], [3.1] [4]～[9]で示される9種類の演算の累積のみで表現し得る部分に分解する。このようにして得られた各部分をセクション(Section)とよぶことにする。各セクションにて、それが計算された順序によって、1, 2, 3, ……と番号をつける。そして第I番目のセクションの計算結果Z Iを定数とみなし、Z Iに対して[1.1], [2.1], [3.1]の各操作を施すことを、それぞれ[1.2], [2.2], [3.2]によって表わす。

以上によって任意の初等関数は演算子[1.1]～[9]、およびこれらの演算子に伴う定数をフォートランプログラムの入力とすることによって得られる。

つぎに例を述べる。

[例]

$$Y = a_1 e^{a_2 x} + \frac{a_3 \sin(a_4 x)}{\sqrt{x^3 + a_5}}$$

(セクションへの分解)

セクション1. $a_1 e^{a_2 x}$

$$Z = a_2 Z$$

$$Z = \text{EXP}(Z)$$

$$Z = a_1 Z \longrightarrow Z 1$$

セクション2. $a_3 \sin(a_4 x)$

$$Z = a_4 Z$$

$$Z = \text{SIN}(Z)$$

$$Z = a_3 Z \longrightarrow Z 2$$

セクション3. $Z_1 + Z_2 / \sqrt{x^3 + a_5}$

$$Z = Z^{3.0}$$

$$Z = Z + a_5$$

$$Z = Z^{-0.5}$$

$$Z = Z \times (Z_2)$$

$$Z = Z + Z_1$$

この例において、入力すべき演算子およびそれに伴う定数はつきのようになる。

セクション1.

$$\left\{ \begin{array}{l} *C, EXP, *C \\ a_2, 0, a_1 \end{array} \right.$$

セクション2.

$$\left\{ \begin{array}{l} *C, SIN, *C \\ a_4, 0, a_3 \end{array} \right.$$

セクション3.

$$\left\{ \begin{array}{l} **C, +C, **C, *Z_2, +Z_1 \\ 3.0, a_5, -0.5, 0, 0 \end{array} \right.$$

ただし、セクション3.に含まれている演算子 **C は、もしその演算で底が負数になる可能性がある場合には、**IC を用いる。

2 応用プログラム LSQR

1.で述べた任意関数の発生手法を用いる応用例として、一次元の最小二乗法によるカーブ・フィッティングの問題を解くプログラム LSQRを作成した。この種のプログラムでは、そこで用いる近似関数の形が異なるたびにプログラムの一部を書き替えたり、あるいはサブプログラムを取り替えたりして使用する場合が多いが、LSQRではその必要がない。以下に解法、プログラムの説明、計算例について述べる。

2.1 解 法

独立変数 x の任意の N 個の点 x_i ($i = 1 \sim N$) に対して観測データ y_i ($i = 1 \sim N$) が与えられているとする。 $y_i = y(x_i)$ は discrete 点集合 $\{x_i\}$ の上で定義された関数とみるとき、これを点集合 $\{x_i\}$ を含む連続な領域 D 上で定義された関数 $f(x) = f(x; \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) \equiv f(x_i; \alpha)$ で近似することを考える。言いかえれば " $f(x)$ が特定の N 個の点で y に一致する" ように $f(x)$ を定めるよりも "より広い領域 D 内で $f(x)$ と y ができるだけ一致する" ようにしたい。この "できるだけ一致する" という意味にもいろいろな解釈が成り立つが、古くから用いられている解釈に二つおりあり、一つは Chebychev's principle とよばれる、 $\max_{x_i \in D} |f(x_i) - y_i|$ を最小にするという考え方である。最大値を最小にするという意味でミニマックス近似とよばれる。もう一つは Legendre's principle にもとづく、 $\sum_i (f(x_i) - y_i)^2$ を最小にするという考え方であり、最小二乗近似とよばれる。与えられたデータをある関数で近似するのに最小二乗近似を用いる方法が最小二乗法である。ここでは、 $W_i = W(x_i)$ を重み関数として

$$I \equiv \sum_{i=1}^N W_i (f(x_i; \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) - y_i)^2 \quad (1)$$

が最小になるように未知係数 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ を決めるなどを考える。(1)が最小となるための十分条件は複雑である。しかしながら(1)が最小となるところでは、 I は未知係数 α_j ($j = 1 \sim m$) に対して極値をとるから、そこで $\frac{\partial I}{\partial \alpha_j} = 0$ ($j = 1 \sim m$) が成り立つ。すなわち $\frac{1}{2}$ の因子を省いて

$$\sum_{i=1}^N W_i \cdot \frac{\partial f(x_i; \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)}{\partial \alpha_j} \cdot [f(x_i; \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) - y_i] = 0 \quad (j = 1 \sim m)$$

が I を最小にするための必要条件である。上式を簡単に

$$\phi_j(\alpha) = \sum_{i=1}^N W_i \frac{\partial f(x_i; \alpha)}{\partial \alpha_j} [f(x_i; \alpha) - y_i] = 0 \quad (j = 1 \sim m) \quad (2)$$

と書く。(2)が成立するような係数 α_j を決めても、それらに対して(1)が最小になるという保証はないが、実際の応用面では、このような事情が深刻な問題となることは少ないのである。

α_j に関する一般の非線型な方程式系(2)を解く方法としてここではニュートン法を用いる。ニュートン法では、まず解の推定値 $\alpha^{(0)}$ を与え、非線型問題を ϕ_j の導関数の $\alpha^{(0)}$ における値を含むような、適当な線型問題で近似する。線型化したあとは、連立一次代数方程式を解くことになる。その解は推定値の増分 $\delta\alpha$ であり ($\alpha^{(0)} + \delta\alpha$) は非線型問題のより良い近似となる。これは一変数のときのニュートン法の n 次元への拡張である。

(2) の ϕ_j をテーラー展開し、第 2 項までをとれば

$$\phi_j(\alpha) = \phi_j(\alpha^{(0)}) + \sum_{k=1}^m \frac{\partial \phi_j}{\partial \alpha_k}(\alpha^{(0)}) (\alpha_k - \alpha_k^{(0)}) \quad (j=1 \sim m) \quad (3)$$

となる。関数系 $\phi_j(\alpha)$ のヤコビ行列の α における値を $J(\alpha)$ で表わす。すなわち

$$J(\alpha) = \begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_1}{\partial \alpha_1}(\alpha), \frac{\partial \phi_1}{\partial \alpha_2}(\alpha), \dots, \frac{\partial \phi_1}{\partial \alpha_m}(\alpha) \\ \frac{\partial \phi_2}{\partial \alpha_1}(\alpha), \frac{\partial \phi_2}{\partial \alpha_2}(\alpha), \dots, \frac{\partial \phi_2}{\partial \alpha_m}(\alpha) \\ \vdots \\ \frac{\partial \phi_m}{\partial \alpha_1}(\alpha), \frac{\partial \phi_m}{\partial \alpha_2}(\alpha), \dots, \frac{\partial \phi_m}{\partial \alpha_m}(\alpha) \end{bmatrix} \quad (4)$$

とし、さらに

$$\Phi(\alpha) = (\phi_1(\alpha), \phi_2(\alpha), \dots, \phi_m(\alpha))^T \quad (5)$$

とすれば(3)はつきのようにならう。

$$\Phi(\alpha) = \Phi(\alpha^{(0)}) + J(\alpha^{(0)}) (\alpha - \alpha^{(0)}) \quad (6)$$

(6)の右辺をゼロとおいて α について解けば

$$\alpha = \alpha^{(0)} - [J(\alpha^{(0)})]^{-1} \Phi(\alpha^{(0)}) \quad (7)$$

となり、この α を $\alpha^{(1)}$ とする。一般に

$$\alpha^{(\ell+1)} = \alpha^{(\ell)} - [J(\alpha^{(\ell)})]^{-1} \Phi(\alpha^{(\ell)}) \quad (8)$$

によって反復計算を続ける。収束の判定は、あらかじめ定められた小さな数 ϵ に対して

$$\left| \frac{\alpha^{(\ell+1)} - \alpha^{(\ell)}}{\alpha^{(\ell+1)}} \right| < \epsilon$$

により判定する。このようにして計算をすすめるためには、 $\alpha^{(l)}$ における ϕ およびJの値が必要であり、 ϕ の値は(2)から直接計算できる。Jの値を求めるために、(2)の両辺を α_k で偏微分すると

$$\frac{\partial \phi_j(\alpha)}{\partial \alpha_k} = \sum_{i=1}^N W_i \left[\frac{\partial^2 f(x_i; \alpha)}{\partial \alpha_k \partial \alpha_j} (f(x_i; \alpha) - y_i) + \frac{\partial f(x_i; \alpha)}{\partial \alpha_k} \cdot \frac{\partial f(x_i; \alpha)}{\partial \alpha_j} \right] \quad (k = 1 \sim m) \quad (9)$$

となる。ゆえに J($\alpha^{(l)}$)を計算するためには、 $\alpha^{(l)}$ における f の α_k ($k = 1 \sim m$) に関する一階および二階の偏微分係数が必要である。以上の考察によれば、この問題に関して任意関数の発生ルーチンを適用するためには、近似関数 f と、未知係数 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ に関する f の一階および二階の偏導関数に対する演算子と、それらに伴なう定数とを入力すればよい。入力する演算子の数は

f に対応するもの 1組

$\frac{\partial f}{\partial \alpha_j}$ に対応するもの m組

$\frac{\partial^2 f}{\partial \alpha_j \partial \alpha_k}$ に対応するもの m^2 組

合計 ($1 + m + m^2$) 組である。

つぎに近似関数 f($x; \alpha$) が未知係数 α_j ($j = 1 \sim m$) に関して線型である場合を考える。このとき f($x; \alpha$) は $V_1(x), V_2(x), \dots, V_m(x)$ を座標関数として

$$f(x; \alpha) = \sum_{k=1}^m \alpha_k V_k(x)$$

と表わされる。この f に対して(2)は

$$\phi_j(\alpha) = \sum_{i=1}^N W_i V_j(x_i) \left[\sum_{k=1}^m \alpha_k V_k(x_i) - y_i \right] \quad (j = 1 \sim m) \quad (2)'$$

となり $\phi_j(\alpha) = 0$ から導かれる正規方程式を

$$A \alpha = b \quad (10)$$

と表わせば

$$A = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N W_i V_1(x_i) V_1(x_i), \sum_{i=1}^N W_i V_1(x_i) V_2(x_i), \dots, \sum_{i=1}^N W_i V_1(x_i) V_m(x_i) \\ \sum_{i=1}^N W_i V_2(x_i) V_1(x_i), \sum_{i=1}^N W_i V_2(x_i) V_2(x_i), \dots, \sum_{i=1}^N W_i V_2(x_i) V_m(x_i) \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^N W_i V_m(x_i) V_1(x_i), \sum_{i=1}^N W_i V_m(x_i) V_2(x_i), \dots, \sum_{i=1}^N W_i V_m(x_i) V_m(x_i) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{b} = \left(\sum_{i=1}^N w_i V_1(x_i) y_i, \sum_{i=1}^N w_i V_2(x_i) y_i, \dots, \sum_{i=1}^N w_i V_m(x_i) y_i \right)^T$$

となる。

一方上述のニュートン法における(9)の右辺第1項はゼロであるから、(4)より $\mathbf{J}(\alpha) = \mathbf{A}$ となりしたがって(7)は

$$\alpha = \alpha^{(0)} - \mathbf{A}^{-1} \Phi(\alpha^{(0)}) \quad (7)'$$

となるが(2)' から

$$\Phi(\alpha^{(0)}) = \mathbf{A} \alpha^{(0)} - \mathbf{b}$$

であり、これを(7)' に代入すれば

$$\alpha = \alpha^{(0)} - \mathbf{A}^{-1} (\mathbf{A} \alpha^{(0)} - \mathbf{b}) = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{b}$$

となる。つまり線型問題においては、正規方程式(10)を解いて α を求める通常の方法と、やゝまわり道にはなるが、初期推定値 $\alpha^{(0)}$ に対して $\Phi(\alpha^{(0)})$ を計算してから(7)' に従って α を求める方法とは同値である。このことはフォートランプログラムを作成するに際して、線型問題と非線型問題とを区別したフローを考える必要がなく、全く同一のフローで両方の問題が扱えることを意味している。

2.2 プログラムの説明

1.で示した例題に従って、入力された演算子とそれに伴なう定数とのプログラム上での処理について説明する。

まず定数をつきの3種類に分類する。

(i) 未知係数としての定数。

(ii) 未知係数以外で関数値を計算するとき用いられる定数。

(iii) 関数値を求めるとき、計算の途中結果としての定数。

1の例題において、入力すべき情報は

$$\left\{ \begin{array}{l} * C, EXP, * C \\ a_2, 0, a_1 \\ * C, SIN, * C \\ a_4, 0, a_3 \\ ** C, + C, ** C, * Z 2, + Z 1 \\ 3.0, a_5, -0.5, 0, 0 \end{array} \right.$$

である。(i)の定数として a_1, a_2, \dots, a_5 があるが、これらの初期推定値はあらかじめ別の READ 文で読み込んでおき、演算子に伴なう定数の与え方としては、これらの未知係数に 1, 2, 3, ……と番号を付しておき、その番号で与えるようにする。(ii)の定数に対しても同様である。すなわち、この例では 3.0 と -0.5 をあらかじめ別の READ 文で読み込んでおき、これらの定数に 11, 12, 13, ……と番号を付し、その番号で与える。

この例では

$$\left\{ \begin{array}{l} 2, 0, 1 \\ 4, 0, 3 \\ 11, 5, 12, 0, 0 \end{array} \right.$$

が各セクションの演算子に伴なう定数として与えるデータとなる。EXP, SIN, COS, ……など、基本外部関数を呼び出す操作としての演算子に伴なう定数は 0 とした。(プログラムでは、これらの定数は参照しないので何を与えてもかまわない。)

定数は記憶装置内につきのように貯えられる。

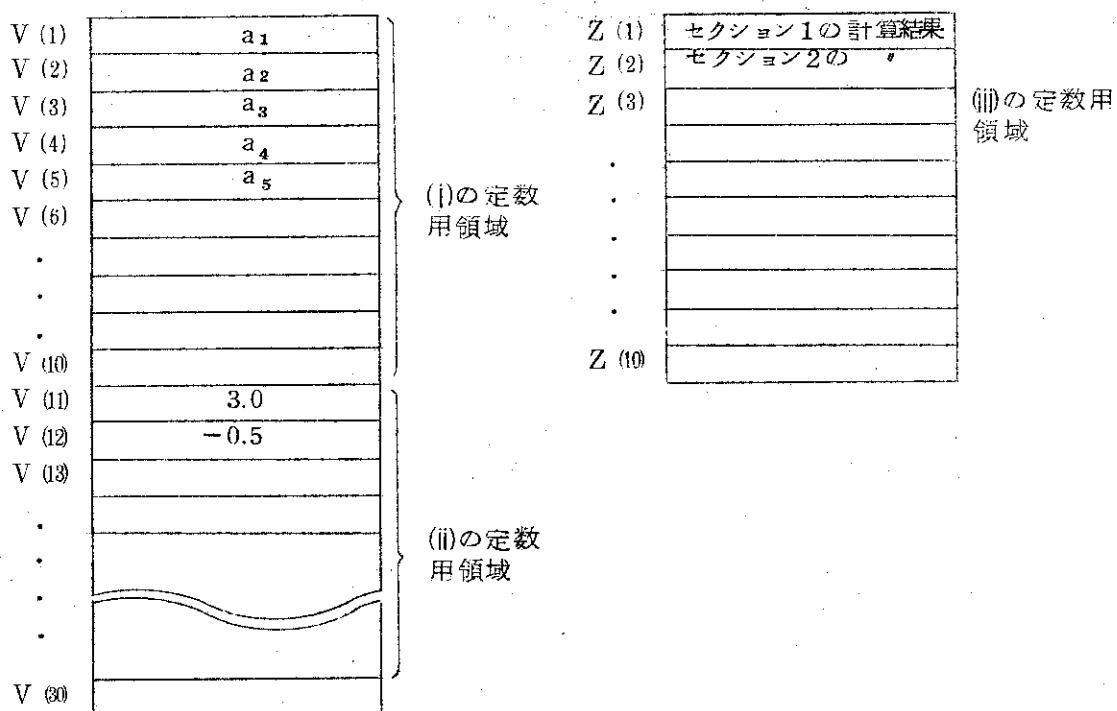


Fig. 1 各定数の記憶装置内での配置

フォートランプログラム上の変数Vに関して、V(1)～V(10)は(i)の定数に対応した領域であり、はじめに未知係数に対する初期推定値が格納される。以後一回の反復計算が終了するたびに新しく計算された値が格納されてゆく。V(11)～V(80)は(ii)の定数に対応した領域であり、その内容は計算が終了するまで変化しない。

Z(1)～Z(10)では、毎回各セクションの計算が終るたびに、そのセクションの最終結果を格納する。

つぎに、入力された演算子は、Table 1にて従って整数化される。

Table 1 演算子と整数との対応表

+ C	1	+ Z 1	11	* Z 1	21	* * Z 1	31
* C	2	+ Z 2	12	* Z 2	22	* * Z 2	32
* * C	3	+ Z 3	13	* Z 3	23	* * Z 3	33
E X P	4	+ Z 4	14	* Z 4	24	* * Z 4	34
S I N	5	+ Z 5	15	* Z 5	25	* * Z 5	35
C O S	6	+ Z 6	16	* Z 6	26	* * Z 6	36
A R S I	7	+ Z 7	17	* Z 7	27	* * Z 7	37
A R C O	8	+ Z 8	18	* Z 8	28	* * Z 8	38
L O G	9	+ Z 9	19	* Z 9	29	* * Z 9	39
* * I C	10						

この変換操作はサブルーチン CONVRT で行われ、その整数を情報としてサブルーチン EVALUe で各関数値を計算する。計算の流れ図を Fig. 2 に示す。

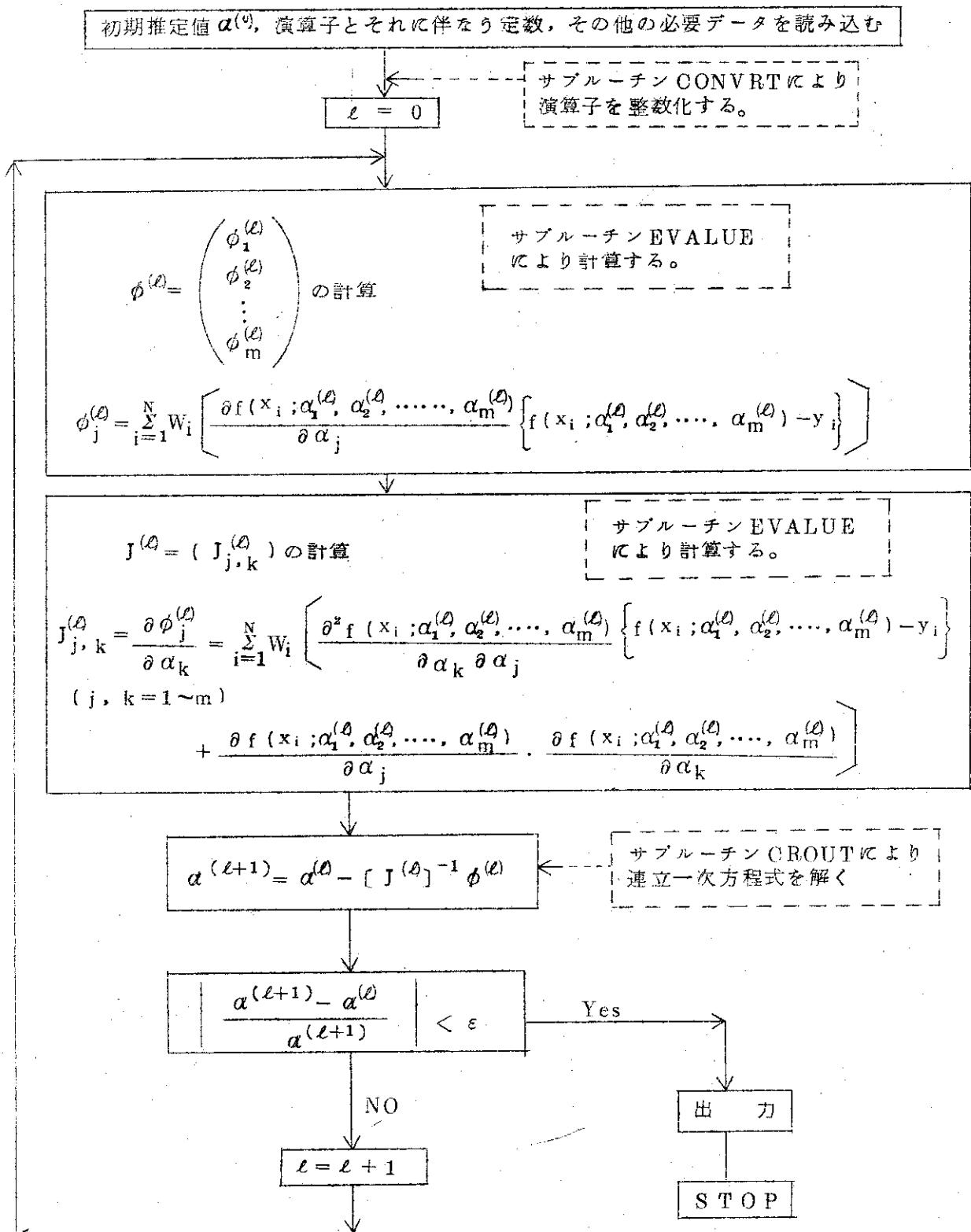


Fig. 2 プログラムの流れ図

2.3 入力の説明

項目番号	FORMAT	記号	説明
1	20A4	(TITLE(I), I=1, 20)	タイトルカード
2	6 I 3	NCOEF	未知係数の数
		NCONS T	2.2の説明における(j)の定数の数
		NPOINT	座標 x_i の数
		KW	$\begin{cases} = 0 \text{ のとき } MPOINT=NPOINT \\ \neq 0 \text{ のとき 一般 } \end{cases}$
		MPOINT	$MPOINT \neq NPOINT$ すなわち KW=0 のときは求まった関数の x_i における値のみをすべて出力する。
		KW2	求まった関数の値を出力したい点 x_k の数 KW=0 のとき不要 $\begin{cases} = 0 \text{ のとき 重み関数 } W(x_i) = 1.0 \\ \neq 0 \text{ のとき 項番号 } 1, 2 \text{ で重み関数 } W(x_i) \text{ を読む} \end{cases}$
3	E10.5	EPS	収束判定因子 (0.01~0.001程度)
4	8E10.5	(V(I), I=1, K)	2.2の説明における(j)の定数 $K = 10 + NCOEF$
5	24I3	(NSECT(I), I=1, LC)	各関数のセクションの数。順序は $f_1, f_2, \dots, f_m, f_{11}, f_{12}, \dots$ とする。 $(f_1 = \frac{\partial f}{\partial \alpha_1})$ $LC = NCOEF * (NCOEF + 1) + 1$

項目番号	FORMAT	記号	説明
	DΦ 150 L=1, LC		
6	24 I 3	(NSECOP(L, I), I=1, NS)	L番目の関数のI番目のセクションに含まれる演算の数。NS=NSECT(L)
7	10(2X A4)	(ITOPER(L M I), I=1, MM)	L番目の関数のM番目のセクションに含まれる演算子を演算の順序に従って入力する。MM=NSECOP(L, M)
8	24 I 3	(ITCONS(L M I), I=1, MM)	7項の演算子に伴なう定数(2.2で説明したように番号で示す。)
	100 CONTINUE		
	150 CONTINUE		
9	10 E 1 0.5	(X(I), I=1, NPOINT)	x_i の座標
	IF(KW.EQ.0) GΦ TΦ 200		
10	10 E 1 0.5	(X1(I), I=1, MPOINT)	求まった関数の値を出力したい点 x_k の座標 KW = 0 のときは不要
	200 CONTINUE		
11	10 E 1 0.5	(F(I), I=1, NPOINT)	f_i の座標
	IF(KW2.EQ.0) GΦ TΦ 250		
12	10 E 1 0.5	(W(I), I=1, NPOINT)	データ $(x_i, f(x_i))$ に関する重み。KW2 = 0 のとき不要
	250 CONTINUE		
	10 E 1 0.5	(V(I), I=1, NCOEF)	未知係数に対する初期推定値
14	2 I 3	KW1	{ = 0 のとき 項番号 1 にもどる ≠ 0 のとき 項番号 15 に続く ^{注2)}
		KW2	2項のKW2と同じ
15	20 A4	(TITLE(D, I=1, 20))	次のケースのタイトルカード ^{注2)}
	GΦ TΦ 200		

制限事項

- 未知係数の数 NCOEF ≤ 10
- データ (x_i, y_i) の数 NPOINT ≤ 200
- 一つの関数に含まれるセクションの数 ≤ 10
- 一つのセクションに含まれる演算子の数 ≤ 10
- 2.2 の説明における(ii)の定数の数 ≤ 20

注1) 値等的にゼロである関数に対しては、セクションの数を0として与え、6, 7, 8項に対する入力は省く。

注2) いくつかの問題を連続して計算する場合に、次の問題が、その前の問題と全く独立しているときは $KW1 = 0$ として項目番号1にもどる。また関数型が前の問題と同一で、データ $f(x_i), W(x_i)$ 、初期推定値のみが異なる場合は15項でタイトルカードを読み込んだのち、11項にもどる。このとき重み関数に関する情報を14項の $KW2$ で与える。

2.4 計算例および計算時間

計算例を三題掲げる。例1, 例2は非線型な問題を, 例3では線型な問題を扱う。

[例1]

$$\sigma(x) = \frac{b}{1 + \sqrt{1 + \frac{a}{x}}} + C\sqrt{1 + \frac{a}{x}} + d$$

上式は U^{235} の熱群における実効断面積の水対燃料体積比に対する変化を示す。 x は水対燃料体積比であり, 第1項は Maxwell, $1/\sqrt{x}$ 効果を, 第2項は $1/x$ 補正をそれぞれ表わしている。第3項は $x \rightarrow \infty$ にしたときの σ の値, すなわち純水中の中性子エネルギースペクトルに対する U^{235} の実効断面積が $b/2 + C + d$ になるようにするための定数である。この例におけるデータ x_i , $\sigma(x_i)$, 初期推定値を Table 2 に示す。 $W(x_i) = 1.0$ とした。

Table 2 例1のデータ x_i , $\sigma(x_i)$, 初期推定値

i	x_i	$\sigma(x_i)$
1	0.11842E 01	0.32509E 03
2	0.95898E 00	0.31371E 03
3	0.73371E 00	0.29744E 03
4	0.50882E 00	0.27236E 03
5	0.19851E 01	0.34752E 03
6	0.16075E 01	0.33937E 03
7	0.122299E 01	0.32713E 03
8	0.85290E 00	0.30696E 03
9	0.23536E 01	0.35337E 03
10	0.16322E 01	0.34012E 03
11	0.67737E 00	0.28817E 03
12	0.54852E 00	0.27382E 03
13	0.12692E 01	0.32406E 03
14	0.10278E 01	0.31326E 03
15	0.78636E 00	0.29765E 03
16	0.54533E 00	0.27339E 03
17	0.21132E 01	0.34495E 03
18	0.16168E 01	0.33505E 03
19	0.11212E 01	0.31806E 03
20	0.83305E 00	0.30084E 03
21	0.67458E 00	0.28766E 03
22	0.51612E 00	0.26946E 03
23	0.18846E 01	0.33977E 03
24	0.15261E 01	0.33165E 03
25	0.11676E 01	0.31941E 03
26	0.80972E 00	0.29917E 03
$a^{(0)} = 1.48, b^{(0)} = 8.06, -C^{(0)} = -2.0, d^{(0)} = 0.3$		

$\varepsilon = 0.01$ として計算した結果 20 回の反復計算で収束し, $a = 0.25771$, $b = 7963.0$, $c = 1273.8$, $d = -4868.8$ を得た。また(1)式で表わされる I は 129.72 であった。さらに試みに、上で得た結果を初期値として与え、 $\varepsilon = 0.001$ で計算したが、結果は殆んど変らず、 $a = 0.25774$, $b = 7963.5$, $c = 1273.9$, $d = -4869.2$, $I = 129.69$ であった。Fig.3 に計算結果のグラフを、Fig.4, Fig.5, Fig.6, Fig.7 に係数 a , b , c , d の変化をそれぞれ示す。

[例 2]

$$y = \left\{ \frac{1}{a + b (\log x)^2} + 1 \right\} \left(1 + \frac{1}{x} \right)^{0.875}$$

独立変数 x は Martinelli - Nelson の定義した変数 χ で、

$$\chi = \left(\frac{\mu_\ell}{\mu_g} \right)^{\frac{1}{2-n}} \left(\frac{r_g}{r_\ell} \right)^{\frac{1}{2-n}} \left(\frac{W_\ell}{W_g} \right)$$

である。ここに

$n : 0.2 \sim 0.25$

μ_ℓ : liquid の粘性係数

μ_g : gass の粘性係数

r_ℓ : liquid の密度

r_g : gass の密度

W_ℓ : liquid の流量

W_g : gass の流量

である。このように定義すると、流量 W_T のときの二相流の摩擦損失 ΔP_{TPF} は同じ流路を水だけ（流量 W_ℓ , $W_\ell + W_g = W_T$ ）が流れたときの摩擦損失 ΔP_ℓ に比べて ϕ_ℓ^2 倍になり、その ϕ_ℓ は χ の関数となる。上式の y はこの ϕ_ℓ を表わす。Fig.8 にこの例題の (x_i, y_i) , 初期推定値, 計算結果およびそのグラフを示す。また係数の変化を Fig.9 に示す。

[例 3]

$$\phi(r) = 1 + a r^2 + b r^3 + c r^4$$

$\phi(r)$ は燃料棒中の中性子束分布である。燃料棒中の中性子束分布を拡散方程式で解くと I_0 分布になる。 I_0 分布は $1 + \frac{(kr)^4}{64} \dots$ となる。実際は燃料の中では拡散近似は成立せず、そのため分布は I_0 分布からずれてくる。このずれを (Kr^3) および (Kr^4) の係数を変えて分布を表現する。用いたデータを Table 3 に、計算結果のグラフを Fig.10 に示す。

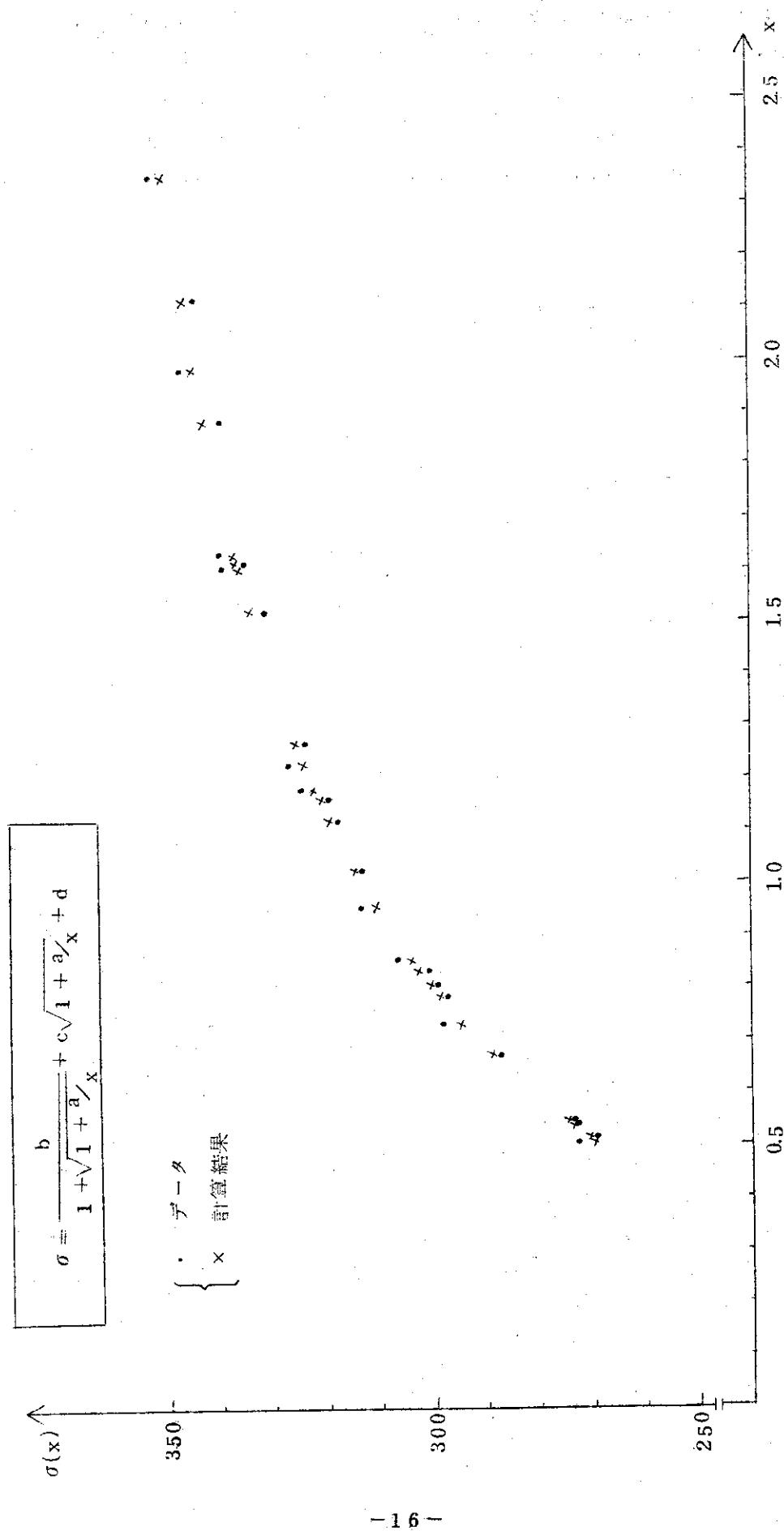
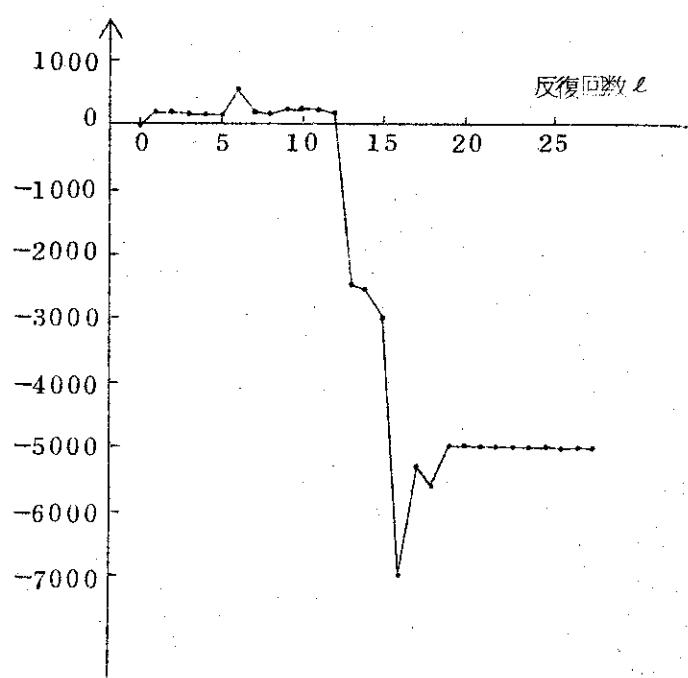
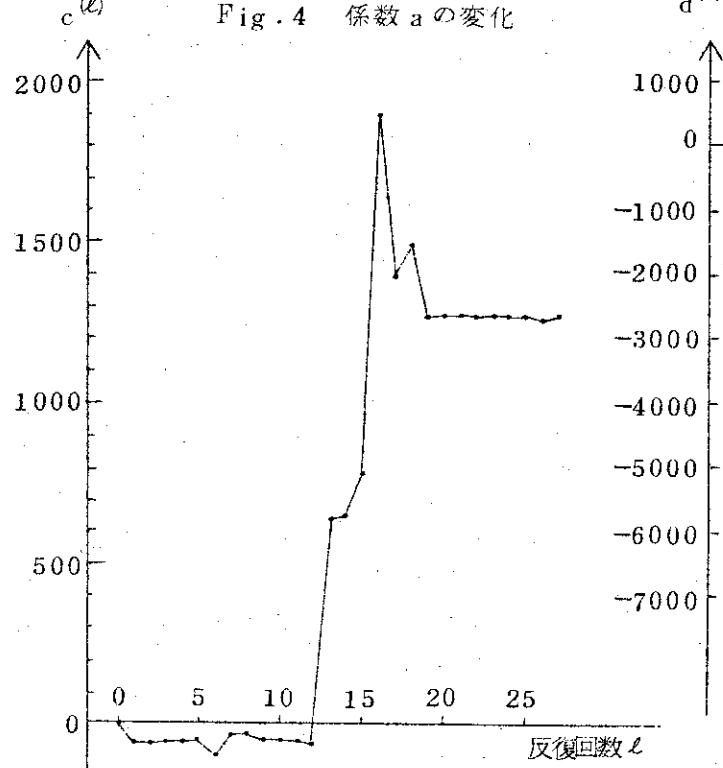
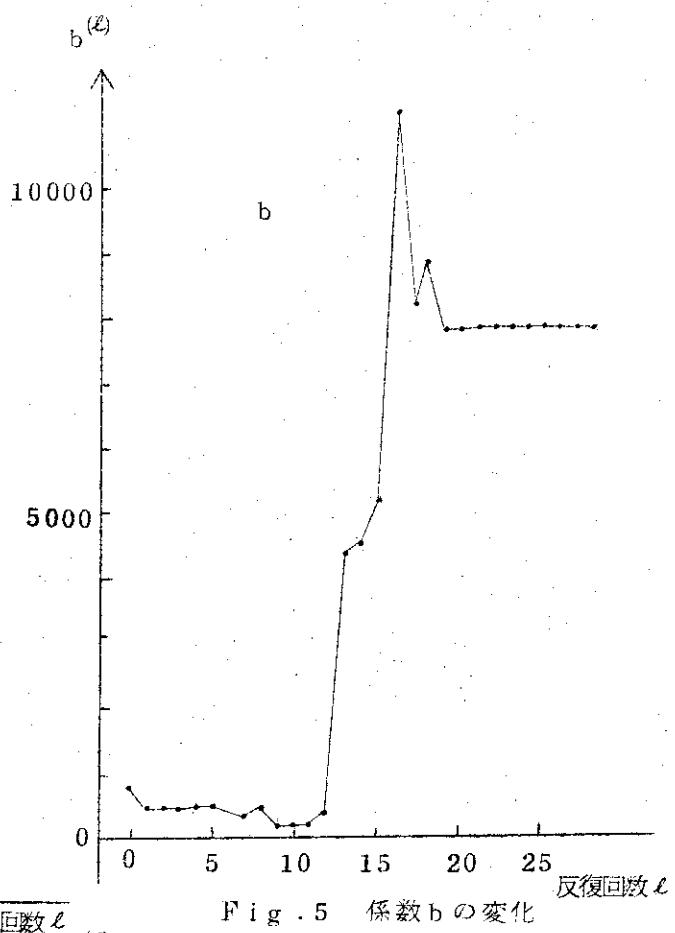
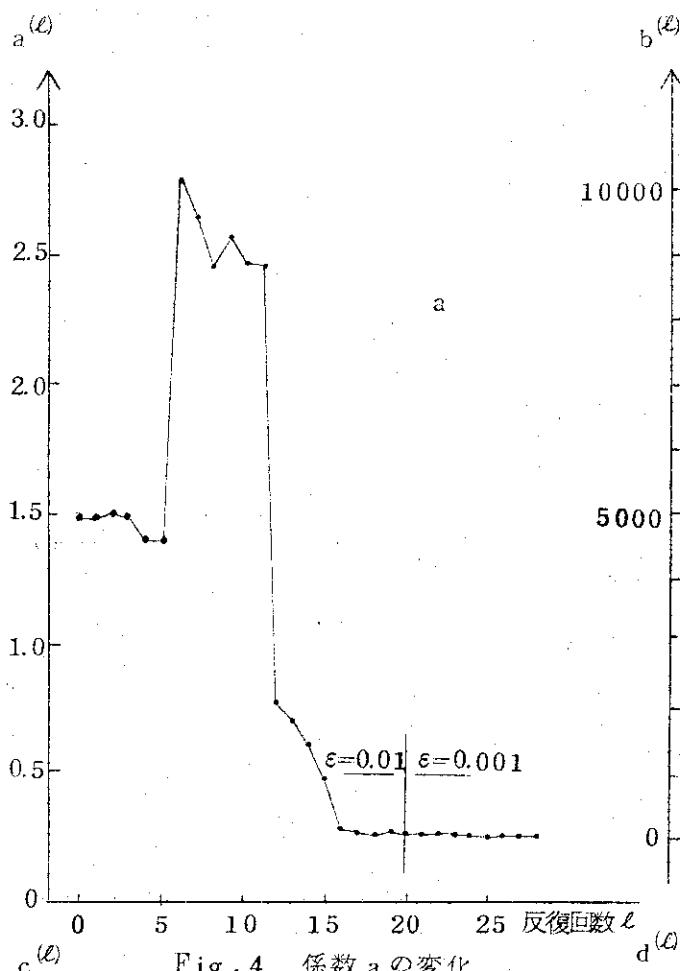


Fig. 3 例 1 のデータおよび計算結果

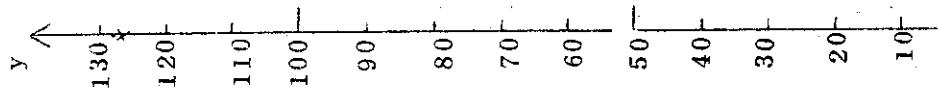


$$y = \left\{ \frac{1}{a + b (\log c x)^2} + 1 \right\} (1 + \frac{1}{x})^{0.875}$$

未知係数	初期推定値	計算結果
a	0.1	0.803
b	0.2	0.00593
c	1.00	9.05

($\epsilon = 0.001$)

{ * データ
{ × 計算結果



x	y ($\log x$)	y ($x; a, b, c$)
0.01	1.280	1.274
0.02	6.84	6.99
0.04	3.85	3.86
0.07	2.44	2.41
0.10	1.85	1.79
0.20	1.12	1.04
0.40	7.05	6.40
0.70	5.04	4.58
1.0	4.20	3.82
2.0	3.10	2.91
4.0	2.38	2.42
7.0	1.96	2.19
10.0	1.75	2.10
20.0	1.48	1.96
40.0	1.29	1.87
70.0	1.17	1.82
100.0	1.11	1.79

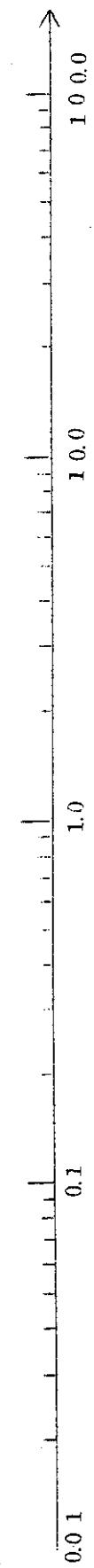


Fig. 8 例2のデータおよび計算結果

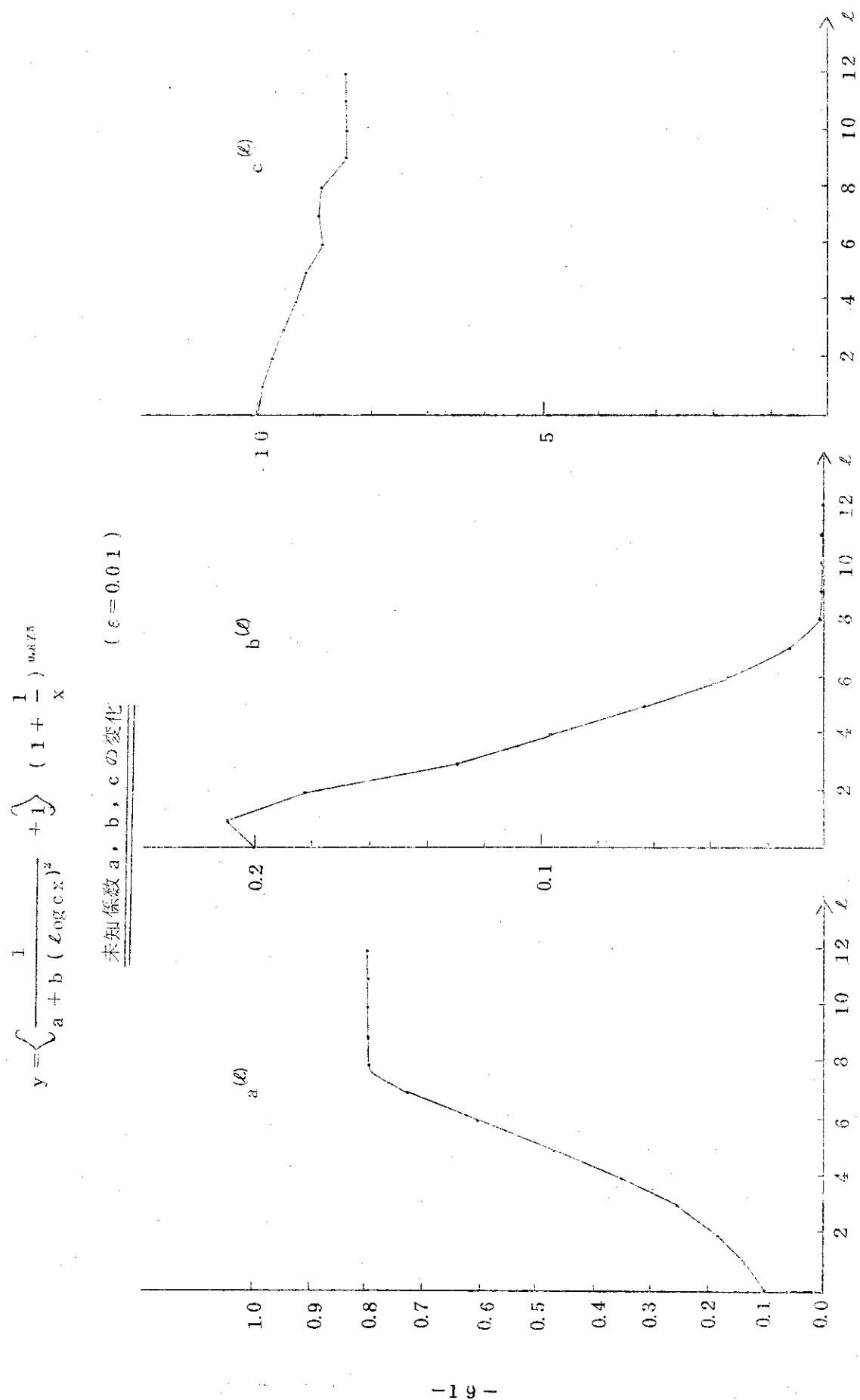


Fig. 9 例2における各係数の変化

Table 3 例3で用いられたデータ r_i , $\phi(r_i)$

i	r_i	$\phi(r_i)$	i	r_i	$\phi(r_i)$
1	0.03155	1.0358	23	0.04212	1.2809
2	0.05221	1.1015	24	0.04496	1.3922
3	0.06199	1.1719	25	0.01263	1.0233
4	0.06939	1.2626	26	0.02091	1.0627
5	0.07441	1.3741	27	0.02482	1.1027
6	0.07943	1.6211	28	0.02779	1.1470
7	0.02823	1.0328	29	0.02980	1.1929
8	0.04673	1.0923	30	0.03181	1.2662
9	0.05548	1.1558	31	0.01029	1.0250
10	0.06210	1.2366	32	0.01702	1.0628
11	0.06660	1.3349	33	0.02021	1.0974
12	0.07109	1.5502	34	0.02263	1.1305
13	0.01956	1.0358	35	0.02426	1.1611
14	0.03238	1.0986	36	0.02590	1.2021
15	0.03845	1.1619	37	0.00433	1.0098
16	0.04304	1.2345	38	0.00717	1.0226
17	0.04615	1.3105	39	0.00851	1.0361
18	0.04927	1.4345	40	0.00953	1.0472
19	0.01786	1.0327	41	0.01021	1.0574
20	0.02955	1.0896	42	0.01090	1.0701
21	0.03509	1.1470	43	0.0	1.0
22	0.03928	1.2125			

例3は線型問題であり、したがって初期推定値は任意に与えてよい。ここでは $a = b = c = 1.0.0$ として計算した。また反復計算をする必要もないで線型問題を扱う場合には、収束判定因子 ϵ に小さな数値を与えることは無意味である。 $\epsilon = 0.1$ として計算した。Fig.11に例3の入力データの形式を説明づきで示す。また Table 4 に各例題の計算時間を示す。

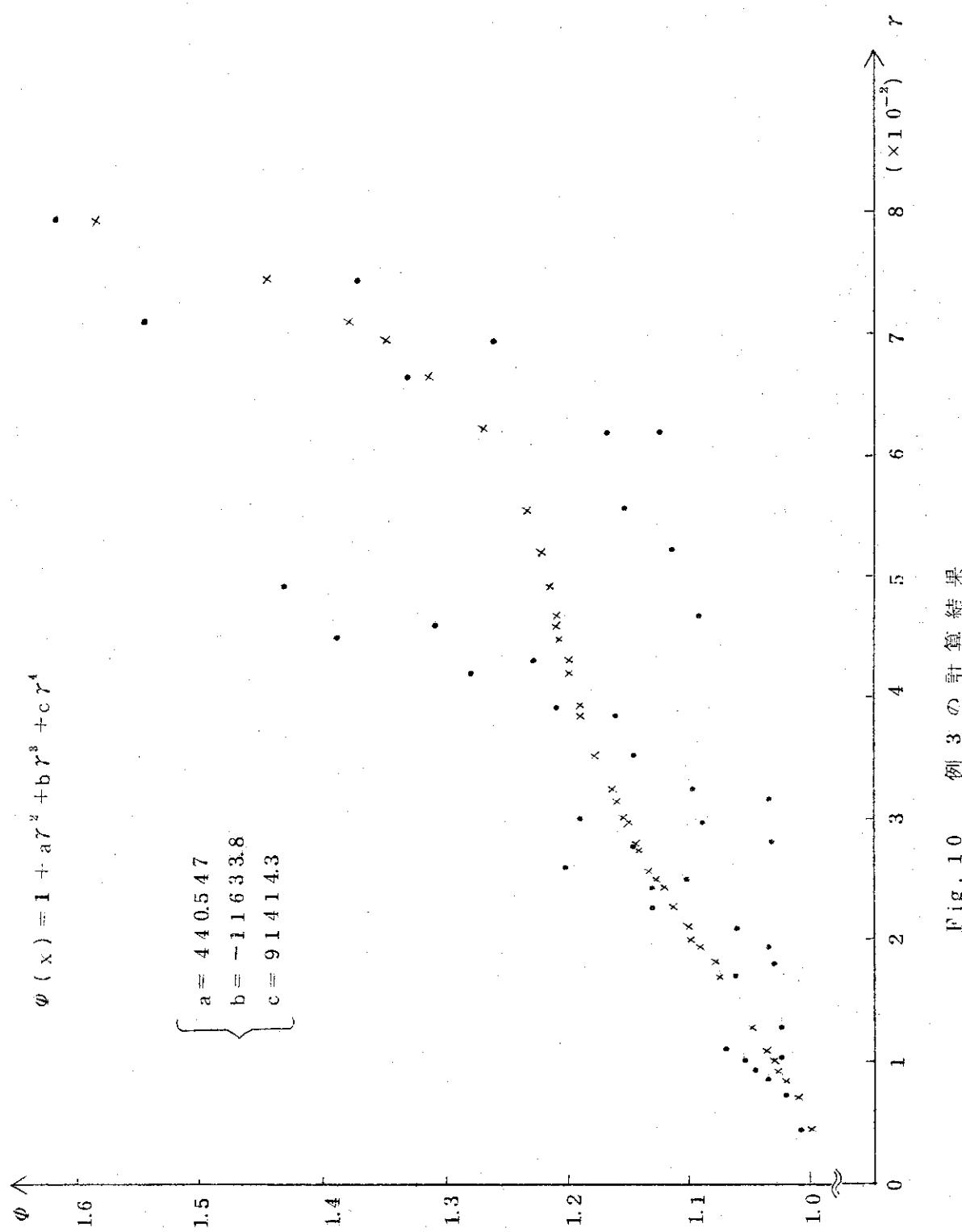


Fig. 10 Example 3 of calculation result

JAERI-M 4703

項番		計算式と入力データとその結果	
1		$F(x) = 1 + x + x^2 + x^3 + x^4$	9.14V. カット
2	0.1	$\text{NCOEF}, \text{NCONST}, \text{NPOINT}$ EPS	1971.11.29.
3	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
4	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 2.1$
5	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
6	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 2.2$
7	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
8	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 2.3$
9	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
10	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 2.4$
11	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
12	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 2.5$
13	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
14	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 2.6$
15	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
16	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 2.7$
17	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
18	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 2.8$
19	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
20	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 2.9$
21	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
22	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 3.0$
23	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
24	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 3.1$
25	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
26	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 3.2$
27	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
28	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 3.3$
29	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
30	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 3.4$
31	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
32	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 3.5$
33	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
34	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 3.6$
35	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
36	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 3.7$
37	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
38	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 3.8$
39	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
40	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 3.9$
41	0.1	$V(11), V(12), V(13), V(14)$ (NSECT(1)) = 3.0, (NSECT(2)) = 1.0, (NSECT(3)) = 1.0, (NSECT(4)) = 1.0	2.0
42	0.1	$Z = \frac{Z^2}{2} + \frac{*C}{2}$ $Z = Z^2$ $Z = 2 + 1$	$\left\{ \begin{array}{l} * * C \\ 2.0 \\ 1.0 \end{array} \right\} \rightarrow 4.0$

(注) 方程式の項番号は2.4の入力の箇所にあわせて書きました。
17-8番目の計算では項番号13に対するデータは存在しません。

Fig 11 例3に対する入力データ

(注) 演算子「 $\frac{\partial}{\partial x}$ 」がデータ正数であるか*+Cと同様にEが0でもいい。
rは実数も虚数もどちらも*+ICを用いて扱うことができる。

Fig. 1 例 3 に対する入力データ

(注) 本論の項番号は、2.4.の入力の説明における項番号である。
1-アースのみの計算では項番を13に対応する形では不必要である。

Table 4 計算時間，使用記憶容量

JOB STEP NO	STEP	CPU TIME	CORE TIME	CORE
1	FORTRAN	5 秒	33 秒	53 k語
2	LIED	6 "	33 "	28 "
例 - 1 の 実 行 時 間		35 "	67 "	
例 - 2 の "		16 "	25 "	
例 - 3 の "		3 "	7 "	

3 む す び

任意関数の発生ルーチンはこの他にたとえば微分方程式、積分方程式などを解くプログラムに採用すれば有効であると考えられる。

本プログラム作成後、テスト用データとして問題を提供して下さいましたJPDR-II開発室の内藤俊孝氏と阿部清治氏に、また全般にわたって助言を戴きました計算センターの森口鉄一氏に深く感謝致します。

参 考 文 献

- (1) Ortega J.-M. and Rheinboldt W.C.: "Iterative Solution of Nonlinear Equations in Several Variables", Academic Press New York and London 1970
- (2) Bellman R.: "Method of Nonlinear Analysis". Academic Press New York and London 1970

3 む す び

任意関数の発生ルーチンはこの他にたとえば微分方程式、積分方程式などを解くプログラムに採用すれば有効であると考えられる。

本プログラム作成後、テスト用データとして問題を提供して下さいましたJPDR II開発室の内藤淑孝氏と阿部清治氏に、また全般にわたって助言を戴きました計算センターの森口欽一氏に深く感謝致します。

参 考 文 献

- (1) Ortega J. M. and Rheinboldt W. C.: "Iterative Solution of Nonlinear Equations in Several Variables", Academic Press New York and London 1970
- (2) Bellman R.: "Method of Nonlinear Analysis", Academic Press New York and London 1970

```

      DIMENSION NSECT(111),NSECOP(111,10),TITLE(20),X(200),X1(200),V(30)
      1      ,F(200),FL(200),ITOPER(111,10,10),JTOPER(111,10,10)
      2      ,ITCONS(111,10,10),GUESS(111),PHAI(111),VI(10),V2(10)
      3      ,A(10,10),B(10,10,11),ERC10),EROCL(356,31),W(200)
      COMMON NSECT,NSECOP,ITCONS,ITOPER,V
      EQUIVALENCE (NSECT,ZEROCL),(V,GUESS,V1)
      INTEGER ZEROCL

      2000 DO 5 I=1,35811
      5 ZEROCL(I)=0

      C   READ(5,500) TITLE(I),I=1,20
      C   WRITE(6,500) TITLE(I),I=1,20
      C   READ(5,505) NCOLF,NCONST,NPOINT,KW,NPOIN(N),KW2
      READ(5,510) EPS
      READ(6,626) EPS
      IF(NCONST.EQ.0) GO TO 10
      K=10+NCONST
      READ(5,510) (V(I),I=11,K)

      C   10 WRITE(6,600) NCOLF,NCONST
      IF(NCONST.EQ.0) GO TO 15
      WRITE(6,602) (V(I),I=11,K)

      C   15 LC=NCOLF*(NCOLF+1)+1
      READ(5,505) (NSECT(I),I=1,LC)
      DO 21 L=1,LC
      NS=NSECT(L)
      IF(NS.EQ.0) GO TO 21
      READ(5,505) (NSECOP(L,I),I=1,NS)
      DO 20 MM=1,NS
      MM=NSECOP(L,M)
      READ(5,515) (ITOPER(L,M,I),I=1,MM)
      READ(5,507) (ITCONS(L,M,I),I=1,MM)
      20 CONTINUE
      21 CONTINUE

      C   CALL CONVERT(LC,NSECT,NSECOP,ITOPER,JTOPER)
      WRITE(6,608)

      C   DO 35 L=1,LC
      NS=NSECT(L)
      IF(NS.EQ.0) GO TO 30
      DO 22 M=1,NS
      MM=NSECOP(L,M)
      DO 25 MM=1,MM
      WRITE(6,610) L,M,N,ITOPER(L,M,N),JTOPER(L,M,N),ITCONS(L,M,N)
      25 CONTINUE
      30 GO TO 35
      35 CONTINUE

      C   READ(5,500) (X(I),I=1,NPOINT)
      IF((KWE.EQ.0) .OR. (KWE.EQ.1)) GO TO 6
      READ(5,510) (X(I),I=1,NPOINT)
      GO TO 3000
      6 NPOINT=NPOINT
      DO 8 I=1,NPOINT
      8 X1(I)=X(I)
      GO TO 3000

      C   2500 READ(5,500) TITLE(I),I=1,20
      C   WRITE(6,500) TITLE(I),I=1,20
      C   3000 READ(5,510) (FC(I),I=1,NP,INT)
      WRITE(6,604) NPOINT,(X(I),I=1,NPOINT)
      WRITE(6,606) (F(I),I=1,NPOINT)
      IF(KWE.EQ.0) GO TO 3500
      READ(5,510) (W(I),I=1,NP,INT)
      WRITE(6,630) (WC(I),I=1,NPOINT)
      GO TO 4000
      3500 DO 3600 I=1,NPOINT
      3600 WC(I)=0
      WRITE(6,632)

      C   4000 READ(5,510) (GUSS(I),I=1,NCOLF)
      WRITE(6,612) (GUSS(I),I=1,NCOLF)
      C   XX=0.0
      DO 36 I=1,NPOINT
      F1(I)=EVALU(X1(I)),I)
      WK(I)=EVALU(X1(I)),I)
      WRITE(6,620) X1(I),F1(I)
      36 XX=XX+(F1(I)-F(I))*(F1(I)-F(I))
      WRITE(6,624) XX

      C   CALCULATION START
      C   1000 DO 40 I=1,NCOLF
      PHAI(I)=0.0
      DO 40 J=1,NCOLF
      40 A(I,J)=0.0

      C   DO 42 I=1,NPOINT
      FMY=EVALU(X(I)),I)
      DO 43 K=1,NCOLF
      JK+1
      PHAI(K)=PHAI(K)+EVALU(X(I)),J)*FMY*Y**W(I)
      DO 45 L=1,NCOLF
      NL+1
      M=NCOLF*K+L+1
      A(K,L)=A(K,L)+(EVALU(X(I)),M)*FMY+EVALU(X(I)),J)*EVALU(X(I),N)*W(I)
      45 CONTINUE
      45 WRITE(6,622) (PHAI(I),I=1,NCOLF)

      C   *
      C

```

```

DO 50 I=1,NCUEF
  B(I,NCUEF+1)=PHAI(I)
  DO 50 J=1,NCUEF
    B(I,J)=A(I,J)
C   CALL CROUT(CCEP,B,EK,1U,11)
C
C   *   WRITE(6,616) EK(I),I=1, NCUEF
C   DO 55 I=1,NCUEF
C     V2(I)=V1(I)-E(I)
C     WRITE(6,618) V2(I),I=1, NCUEF
C
C   KH=0
C   DO 60 I=1,NCUEF
C     TFMP=ABS((V2(I)-V1(I))/V(I))
C     IF (TFMP.GT.EPS) GO TO 61
C     CONTINUE
C   KH=1
C
C   61 DO 65 I=1,NCUEF
C     V1(I)=V2(I)
C     IF (KH.EQ.0) GO TO 1000
C
C   XX=0.0
C   DO 70 I=1,MFINI
C     F1(I)=EVALU(X1(I)),I
C     WRITE(6,620) X1(I),F1(I)
C   70 XX=X+F1(I)-F(I)*F1(I,-1),(I)
C   WRITE(6,624) XX
C   HLOAD(505) KW1,KW2
C   WRITE(6,628)
C   IF (KW1.EQ.0) GO TO 2000
C   GO TO 2500
C
C   200 FORMAT(20A4)
C   500 FORMAT(24I3)
C   510 FORMAT(8E10.2)
C   515 FORMAT(10(2A,A4))
C   600 FORMAT(2X,31NUMBER OF UNKNOWN COEFFICIENT = 1/2X*25NUMBER OF CO
C   INSTANT USED = 12)
C   602 FORMAT(8(2X,15.3))
C   604 FORMAT(1H0*1A2NUMBER F ARGUMENT = 13.1X*1H/X/8(2X,E15.8))
C   606 FORMAT(1H0,4IF X/8(2X,t,5,r))
C   608 FORMAT(1H0,4*6FN NO.,2*1CH(INDEX FOR OPERATOR NO.,2*2X*BHOOPER
C   1,2X,15INDEX FOR OPER,2*1CH(.),X,10,1H-),2(2X,9,1H-
C   2),2A,9,1H-2,2X,15(1H-),X,10,1H-)
C   610 FORMAT(3(7X,13),8X,A4,1U,X,12,14X,12,
C   612 FORMAT(7X,13,8X,1A,13HINITIAL ,UESS/3A,10,1X,E12.5))
C   614 FORMAT(7X,13,8X,1H0)
C   616 FORMAT(1H0,12HVECTOR VECT.R/6(2X,E15.8))
C   618 FORMAT(1H0,29HREVISED COEFFICIENTS(2X,E15.8))
C   620 FORMAT(8(10X,23X,E12,8))
C   * 622 FORMAT(2X,8H* OUTPUT(8C2,E15.8))
C   624 FORMAT(2/23H SUM, OR SWART ERROR=E15.5)
C   626 FORMAT(2,50H CRITERION FOR RELATIVE REPORT,E12.5)

```

```

SUBROUTINE CONVTFUNC(NFUNC,SECT,NSFCOP,ITOP,ER)
DIMENSION NSECT(111),NSEL(111,10),ITOP(LR111,10,10),OP1(9)
1  INTEGER OP1,OP2,OP3,OP4
DATA OP1/4H+C ,4H*C ,4H*EXP ,4HSIN ,4HCOS ,4HARCSI ,4HARCCO ,
     1  4HLOG /,4H*L1 ,4H*L2 ,4H*L3 ,4H*L4 ,4H*L5 ,4H*L6 ,4H*L7 ,4H*L8 ,
     2  OP2/4H*L1 ,4H*L2 ,4H*L3 ,4H*L4 ,4H*L5 ,4H*L6 ,4H*L7 ,4H*L8 ,
     3  4H*L9 /,4H*L10 ,4H*L11 ,4H*L12 ,4H*L13 ,4H*L14 ,4H*L15 ,4H*L16 ,
     4  OP3/4H*L1 ,4H*L2 ,4H*L3 ,4H*L4 ,4H*L5 ,4H*L6 ,4H*L7 ,4H*L8 ,
     5  4H*L9 /,4H*L10 ,4H*L11 ,4H*L12 ,4H*L13 ,4H*L14 ,4H*L15 ,4H*L16 ,
     6  OP4/4H*L1 ,4H*L2 ,4H*L3 ,4H*L4 ,4H*L5 ,4H*L6 ,4H*L7 ,4H*L8 ,
     7  4H*L9 /,4H*L10 ,4H*L11 ,4H*L12 ,4H*L13 ,4H*L14 ,4H*L15 ,4H*L16 ,
     8  4H*L17 ,4H*L18 ,4H*L19 ,4H*L20 ,4H*L21 ,4H*L22 ,4H*L23 ,4H*L24 ,
     9  4H*L25 ,4H*L26 ,4H*L27 ,4H*L28 ,4H*L29 ,4H*L30 ,4H*L31 ,4H*L32 ,
    10  4H*L33 ,4H*L34 ,4H*L35 ,4H*L36 ,4H*L37 ,4H*L38 ,4H*L39 ,4H*L40 ,
    11  4H*L41 ,4H*L42 ,4H*L43 ,4H*L44 ,4H*L45 ,4H*L46 ,4H*L47 ,4H*L48 ,
    12  4H*L49 ,4H*L50 ,4H*L51 ,4H*L52 ,4H*L53 ,4H*L54 ,4H*L55 ,4H*L56 ,
    13  4H*L57 ,4H*L58 ,4H*L59 ,4H*L60 ,4H*L61 ,4H*L62 ,4H*L63 ,4H*L64 ,
    14  4H*L65 ,4H*L66 ,4H*L67 ,4H*L68 ,4H*L69 ,4H*L70 ,4H*L71 ,4H*L72 ,
    15  4H*L73 ,4H*L74 ,4H*L75 ,4H*L76 ,4H*L77 ,4H*L78 ,4H*L79 ,4H*L80 ,
    16  4H*L81 ,4H*L82 ,4H*L83 ,4H*L84 ,4H*L85 ,4H*L86 ,4H*L87 ,4H*L88 ,
    17  4H*L89 ,4H*L90 ,4H*L91 ,4H*L92 ,4H*L93 ,4H*L94 ,4H*L95 ,4H*L96 ,
    18  4H*L97 ,4H*L98 ,4H*L99 ,4H*L100 ,4H*L101 ,4H*L102 ,4H*L103 ,
    19  4H*L104 ,4H*L105 ,4H*L106 ,4H*L107 ,4H*L108 ,4H*L109 ,4H*L110 ,
    20  4H*L111 ,4H*L112 ,4H*L113 ,4H*L114 ,4H*L115 ,4H*L116 ,4H*L117 ,
    21  4H*L118 ,4H*L119 ,4H*L120 ,4H*L121 ,4H*L122 ,4H*L123 ,4H*L124 ,
    22  4H*L125 ,4H*L126 ,4H*L127 ,4H*L128 ,4H*L129 ,4H*L130 ,4H*L131 ,
    23  4H*L132 ,4H*L133 ,4H*L134 ,4H*L135 ,4H*L136 ,4H*L137 ,4H*L138 ,
    24  4H*L139 ,4H*L140 ,4H*L141 ,4H*L142 ,4H*L143 ,4H*L144 ,4H*L145 ,
    25  4H*L146 ,4H*L147 ,4H*L148 ,4H*L149 ,4H*L150 ,4H*L151 ,4H*L152 ,
    26  4H*L153 ,4H*L154 ,4H*L155 ,4H*L156 ,4H*L157 ,4H*L158 ,4H*L159 ,
    27  4H*L160 ,4H*L161 ,4H*L162 ,4H*L163 ,4H*L164 ,4H*L165 ,4H*L166 ,
    28  4H*L167 ,4H*L168 ,4H*L169 ,4H*L170 ,4H*L171 ,4H*L172 ,4H*L173 ,
    29  4H*L174 ,4H*L175 ,4H*L176 ,4H*L177 ,4H*L178 ,4H*L179 ,4H*L180 ,
    30  4H*L181 ,4H*L182 ,4H*L183 ,4H*L184 ,4H*L185 ,4H*L186 ,4H*L187 ,
    31  4H*L188 ,4H*L189 ,4H*L190 ,4H*L191 ,4H*L192 ,4H*L193 ,4H*L194 ,
    32  4H*L195 ,4H*L196 ,4H*L197 ,4H*L198 ,4H*L199 ,4H*L200 ,4H*L201 ,
    33  4H*L202 ,4H*L203 ,4H*L204 ,4H*L205 ,4H*L206 ,4H*L207 ,4H*L208 ,
    34  4H*L209 ,4H*L210 ,4H*L211 ,4H*L212 ,4H*L213 ,4H*L214 ,4H*L215 ,
    35  4H*L216 ,4H*L217 ,4H*L218 ,4H*L219 ,4H*L220 ,4H*L221 ,4H*L222 ,
    36  4H*L223 ,4H*L224 ,4H*L225 ,4H*L226 ,4H*L227 ,4H*L228 ,4H*L229 ,
    37  4H*L230 ,4H*L231 ,4H*L232 ,4H*L233 ,4H*L234 ,4H*L235 ,4H*L236 ,
    38  4H*L237 ,4H*L238 ,4H*L239 ,4H*L240 ,4H*L241 ,4H*L242 ,4H*L243 ,
    39  4H*L244 ,4H*L245 ,4H*L246 ,4H*L247 ,4H*L248 ,4H*L249 ,4H*L250 ,
    40  4H*L251 ,4H*L252 ,4H*L253 ,4H*L254 ,4H*L255 ,4H*L256 ,4H*L257 ,
    41  4H*L258 ,4H*L259 ,4H*L260 ,4H*L261 ,4H*L262 ,4H*L263 ,4H*L264 ,
    42  4H*L265 ,4H*L266 ,4H*L267 ,4H*L268 ,4H*L269 ,4H*L270 ,4H*L271 ,
    43  4H*L272 ,4H*L273 ,4H*L274 ,4H*L275 ,4H*L276 ,4H*L277 ,4H*L278 ,
    44  4H*L279 ,4H*L280 ,4H*L281 ,4H*L282 ,4H*L283 ,4H*L284 ,4H*L285 ,
    45  4H*L286 ,4H*L287 ,4H*L288 ,4H*L289 ,4H*L290 ,4H*L291 ,4H*L292 ,
    46  4H*L293 ,4H*L294 ,4H*L295 ,4H*L296 ,4H*L297 ,4H*L298 ,4H*L299 ,
    47  4H*L299 ,4H*L300 ,4H*L301 ,4H*L302 ,4H*L303 ,4H*L304 ,4H*L305 ,
    48  4H*L306 ,4H*L307 ,4H*L308 ,4H*L309 ,4H*L310 ,4H*L311 ,4H*L312 ,
    49  4H*L313 ,4H*L314 ,4H*L315 ,4H*L316 ,4H*L317 ,4H*L318 ,4H*L319 ,
    50  4H*L320 ,4H*L321 ,4H*L322 ,4H*L323 ,4H*L324 ,4H*L325 ,4H*L326 ,
    51  4H*L327 ,4H*L328 ,4H*L329 ,4H*L330 ,4H*L331 ,4H*L332 ,4H*L333 ,
    52  4H*L334 ,4H*L335 ,4H*L336 ,4H*L337 ,4H*L338 ,4H*L339 ,4H*L340 ,
    53  4H*L341 ,4H*L342 ,4H*L343 ,4H*L344 ,4H*L345 ,4H*L346 ,4H*L347 ,
    54  4H*L348 ,4H*L349 ,4H*L350 ,4H*L351 ,4H*L352 ,4H*L353 ,4H*L354 ,
    55  4H*L355 ,4H*L356 ,4H*L357 ,4H*L358 ,4H*L359 ,4H*L360 ,4H*L361 ,
    56  4H*L362 ,4H*L363 ,4H*L364 ,4H*L365 ,4H*L366 ,4H*L367 ,4H*L368 ,
    57  4H*L369 ,4H*L370 ,4H*L371 ,4H*L372 ,4H*L373 ,4H*L374 ,4H*L375 ,
    58  4H*L376 ,4H*L377 ,4H*L378 ,4H*L379 ,4H*L380 ,4H*L381 ,4H*L382 ,
    59  4H*L383 ,4H*L384 ,4H*L385 ,4H*L386 ,4H*L387 ,4H*L388 ,4H*L389 ,
    60  4H*L390 ,4H*L391 ,4H*L392 ,4H*L393 ,4H*L394 ,4H*L395 ,4H*L396 ,
    61  4H*L397 ,4H*L398 ,4H*L399 ,4H*L400 ,4H*L401 ,4H*L402 ,4H*L403 ,
    62  4H*L404 ,4H*L405 ,4H*L406 ,4H*L407 ,4H*L408 ,4H*L409 ,4H*L410 ,
    63  4H*L411 ,4H*L412 ,4H*L413 ,4H*L414 ,4H*L415 ,4H*L416 ,4H*L417 ,
    64  4H*L418 ,4H*L419 ,4H*L420 ,4H*L421 ,4H*L422 ,4H*L423 ,4H*L424 ,
    65  4H*L425 ,4H*L426 ,4H*L427 ,4H*L428 ,4H*L429 ,4H*L430 ,4H*L431 ,
    66  4H*L432 ,4H*L433 ,4H*L434 ,4H*L435 ,4H*L436 ,4H*L437 ,4H*L438 ,
    67  4H*L439 ,4H*L440 ,4H*L441 ,4H*L442 ,4H*L443 ,4H*L444 ,4H*L445 ,
    68  4H*L446 ,4H*L447 ,4H*L448 ,4H*L449 ,4H*L450 ,4H*L451 ,4H*L452 ,
    69  4H*L453 ,4H*L454 ,4H*L455 ,4H*L456 ,4H*L457 ,4H*L458 ,4H*L459 ,
    70  4H*L459 ,4H*L460 ,4H*L461 ,4H*L462 ,4H*L463 ,4H*L464 ,4H*L465 ,
    71  4H*L466 ,4H*L467 ,4H*L468 ,4H*L469 ,4H*L470 ,4H*L471 ,4H*L472 ,
    72  4H*L473 ,4H*L474 ,4H*L475 ,4H*L476 ,4H*L477 ,4H*L478 ,4H*L479 ,
    73  4H*L479 ,4H*L480 ,4H*L481 ,4H*L482 ,4H*L483 ,4H*L484 ,4H*L485 ,
    74  4H*L486 ,4H*L487 ,4H*L488 ,4H*L489 ,4H*L490 ,4H*L491 ,4H*L492 ,
    75  4H*L493 ,4H*L494 ,4H*L495 ,4H*L496 ,4H*L497 ,4H*L498 ,4H*L499 ,
    76  4H*L499 ,4H*L500 ,4H*L501 ,4H*L502 ,4H*L503 ,4H*L504 ,4H*L505 ,
    77  4H*L506 ,4H*L507 ,4H*L508 ,4H*L509 ,4H*L510 ,4H*L511 ,4H*L512 ,
    78  4H*L513 ,4H*L514 ,4H*L515 ,4H*L516 ,4H*L517 ,4H*L518 ,4H*L519 ,
    79  4H*L519 ,4H*L520 ,4H*L521 ,4H*L522 ,4H*L523 ,4H*L524 ,4H*L525 ,
    80  4H*L526 ,4H*L527 ,4H*L528 ,4H*L529 ,4H*L530 ,4H*L531 ,4H*L532 ,
    81  4H*L533 ,4H*L534 ,4H*L535 ,4H*L536 ,4H*L537 ,4H*L538 ,4H*L539 ,
    82  4H*L539 ,4H*L540 ,4H*L541 ,4H*L542 ,4H*L543 ,4H*L544 ,4H*L545 ,
    83  4H*L546 ,4H*L547 ,4H*L548 ,4H*L549 ,4H*L550 ,4H*L551 ,4H*L552 ,
    84  4H*L553 ,4H*L554 ,4H*L555 ,4H*L556 ,4H*L557 ,4H*L558 ,4H*L559 ,
    85  4H*L559 ,4H*L560 ,4H*L561 ,4H*L562 ,4H*L563 ,4H*L564 ,4H*L565 ,
    86  4H*L566 ,4H*L567 ,4H*L568 ,4H*L569 ,4H*L570 ,4H*L571 ,4H*L572 ,
    87  4H*L573 ,4H*L574 ,4H*L575 ,4H*L576 ,4H*L577 ,4H*L578 ,4H*L579 ,
    88  4H*L579 ,4H*L580 ,4H*L581 ,4H*L582 ,4H*L583 ,4H*L584 ,4H*L585 ,
    89  4H*L586 ,4H*L587 ,4H*L588 ,4H*L589 ,4H*L590 ,4H*L591 ,4H*L592 ,
    90  4H*L593 ,4H*L594 ,4H*L595 ,4H*L596 ,4H*L597 ,4H*L598 ,4H*L599 ,
    91  4H*L599 ,4H*L600 ,4H*L601 ,4H*L602 ,4H*L603 ,4H*L604 ,4H*L605 ,
    92  4H*L606 ,4H*L607 ,4H*L608 ,4H*L609 ,4H*L610 ,4H*L611 ,4H*L612 ,
    93  4H*L613 ,4H*L614 ,4H*L615 ,4H*L616 ,4H*L617 ,4H*L618 ,4H*L619 ,
    94  4H*L619 ,4H*L620 ,4H*L621 ,4H*L622 ,4H*L623 ,4H*L624 ,4H*L625 ,
    95  4H*L626 ,4H*L627 ,4H*L628 ,4H*L629 ,4H*L630 ,4H*L631 ,4H*L632 ,
    96  4H*L633 ,4H*L634 ,4H*L635 ,4H*L636 ,4H*L637 ,4H*L638 ,4H*L639 ,
    97  4H*L639 ,4H*L640 ,4H*L641 ,4H*L642 ,4H*L643 ,4H*L644 ,4H*L645 ,
    98  4H*L646 ,4H*L647 ,4H*L648 ,4H*L649 ,4H*L650 ,4H*L651 ,4H*L652 ,
    99  4H*L653 ,4H*L654 ,4H*L655 ,4H*L656 ,4H*L657 ,4H*L658 ,4H*L659 ,
    100 4H*L659 ,4H*L660 ,4H*L661 ,4H*L662 ,4H*L663 ,4H*L664 ,4H*L665 ,
    101 4H*L666 ,4H*L667 ,4H*L668 ,4H*L669 ,4H*L670 ,4H*L671 ,4H*L672 ,
    102 4H*L673 ,4H*L674 ,4H*L675 ,4H*L676 ,4H*L677 ,4H*L678 ,4H*L679 ,
    103 4H*L679 ,4H*L680 ,4H*L681 ,4H*L682 ,4H*L683 ,4H*L684 ,4H*L685 ,
    104 4H*L686 ,4H*L687 ,4H*L688 ,4H*L689 ,4H*L690 ,4H*L691 ,4H*L692 ,
    105 4H*L693 ,4H*L694 ,4H*L695 ,4H*L696 ,4H*L697 ,4H*L698 ,4H*L699 ,
    106 4H*L699 ,4H*L700 ,4H*L701 ,4H*L702 ,4H*L703 ,4H*L704 ,4H*L705 ,
    107 4H*L706 ,4H*L707 ,4H*L708 ,4H*L709 ,4H*L710 ,4H*L711 ,4H*L712 ,
    108 4H*L713 ,4H*L714 ,4H*L715 ,4H*L716 ,4H*L717 ,4H*L718 ,4H*L719 ,
    109 4H*L719 ,4H*L720 ,4H*L721 ,4H*L722 ,4H*L723 ,4H*L724 ,4H*L725 ,
    110 4H*L726 ,4H*L727 ,4H*L728 ,4H*L729 ,4H*L730 ,4H*L731 ,4H*L732 ,
    111 4H*L733 ,4H*L734 ,4H*L735 ,4H*L736 ,4H*L737 ,4H*L738 ,4H*L739 ,
    112 4H*L739 ,4H*L740 ,4H*L741 ,4H*L742 ,4H*L743 ,4H*L744 ,4H*L745 ,
    113 4H*L746 ,4H*L747 ,4H*L748 ,4H*L749 ,4H*L750 ,4H*L751 ,4H*L752 ,
    114 4H*L753 ,4H*L754 ,4H*L755 ,4H*L756 ,4H*L757 ,4H*L758 ,4H*L759 ,
    115 4H*L759 ,4H*L760 ,4H*L761 ,4H*L762 ,4H*L763 ,4H*L764 ,4H*L765 ,
    116 4H*L766 ,4H*L767 ,4H*L768 ,4H*L769 ,4H*L770 ,4H*L771 ,4H*L772 ,
    117 4H*L773 ,4H*L774 ,4H*L775 ,4H*L776 ,4H*L777 ,4H*L778 ,4H*L779 ,
    118 4H*L779 ,4H*L780 ,4H*L781 ,4H*L782 ,4H*L783 ,4H*L784 ,4H*L785 ,
    119 4H*L786 ,4H*L787 ,4H*L788 ,4H*L789 ,4H*L790 ,4H*L791 ,4H*L792 ,
    120 4H*L793 ,4H*L794 ,4H*L795 ,4H*L796 ,4H*L797 ,4H*L798 ,4H*L799 ,
    121 4H*L799 ,4H*L800 ,4H*L801 ,4H*L802 ,4H*L803 ,4H*L804 ,4H*L805 ,
    122 4H*L806 ,4H*L807 ,4H*L808 ,4H*L809 ,4H*L810 ,4H*L811 ,4H*L812 ,
    123 4H*L813 ,4H*L814 ,4H*L815 ,4H*L816 ,4H*L817 ,4H*L818 ,4H*L819 ,
    124 4H*L819 ,4H*L820 ,4H*L821 ,4H*L822 ,4H*L823 ,4H*L824 ,4H*L825 ,
    125 4H*L826 ,4H*L827 ,4H*L828 ,4H*L829 ,4H*L830 ,4H*L831 ,4H*L832 ,
    126 4H*L833 ,4H*L834 ,4H*L835 ,4H*L836 ,4H*L837 ,4H*L838 ,4H*L839 ,
    127 4H*L839 ,4H*L840 ,4H*L841 ,4H*L842 ,4H*L843 ,4H*L844 ,4H*L845 ,
    128 4H*L846 ,4H*L847 ,4H*L848 ,4H*L849 ,4H*L850 ,4H*L851 ,4H*L852 ,
    129 4H*L853 ,4H*L854 ,4H*L855 ,4H*L856 ,4H*L857 ,4H*L858 ,4H*L859 ,
    130 4H*L859 ,4H*L860 ,4H*L861 ,4H*L862 ,4H*L863 ,4H*L864 ,4H*L865 ,
    131 4H*L866 ,4H*L867 ,4H*L868 ,4H*L869 ,4H*L870 ,4H*L871 ,4H*L872 ,
    132 4H*L873 ,4H*L874 ,4H*L875 ,4H*L876 ,4H*L877 ,4H*L878 ,4H*L879 ,
    133 4H*L879 ,4H*L880 ,4H*L881 ,4H*L882 ,4H*L883 ,4H*L884 ,4H*L885 ,
    134 4H*L886 ,4H*L887 ,4H*L888 ,4H*L889 ,4H*L890 ,4H*L891 ,4H*L892 ,
    135 4H*L893 ,4H*L894 ,4H*L895 ,4H*L896 ,4H*L897 ,4H*L898 ,4H*L899 ,
    136 4H*L899 ,4H*L900 ,4H*L901 ,4H*L902 ,4H*L903 ,4H*L904 ,4H*L905 ,
    137 4H*L906 ,4H*L907 ,4H*L908 ,4H*L909 ,4H*L910 ,4H*L911 ,4H*L912 ,
    138 4H*L913 ,4H*L914 ,4H*L915 ,4H*L916 ,4H*L917 ,4H*L918 ,4H*L919 ,
    139 4H*L919 ,4H*L920 ,4H*L921 ,4H*L922 ,4H*L923 ,4H*L924 ,4H*L925 ,
    140 4H*L926 ,4H*L927 ,4H*L928 ,4H*L929 ,4H*L930 ,4H*L931 ,4H*L932 ,
    141 4H*L933 ,4H*L934 ,4H*L935 ,4H*L936 ,4H*L937 ,4H*L938 ,4H*L939 ,
    142 4H*L939 ,4H*L940 ,4H*L941 ,4H*L942 ,4H*L943 ,4H*L944 ,4H*L945 ,
    143 4H*L946 ,4H*L947 ,4H*L948 ,4H*L949 ,4H*L950 ,4H*L951 ,4H*L952 ,
    144 4H*L953 ,4H*L954 ,4H*L955 ,4H*L956 ,4H*L957 ,4H*L958 ,4H*L959 ,
    145 4H*L959 ,4H*L960 ,4H*L961 ,4H*L962 ,4H*L963 ,4H*L964 ,4H*L965 ,
    146 4H*L966 ,4H*L967 ,4H*L968 ,4H*L969 ,4H*L970 ,4H*L971 ,4H*L972 ,
    147 4H*L973 ,4H*L974 ,4H*L975 ,4H*L976 ,4H*L977 ,4H*L978 ,4H*L979 ,
    148 4H*L979 ,4H*L980 ,4H*L981 ,4H*L982 ,4H*L983 ,4H*L984 ,4H*L985 ,
    149 4H*L986 ,4H*L987 ,4H*L988 ,4H*L989 ,4H*L990 ,4H*L991 ,4H*L992 ,
    150 4H*L993 ,4H*L994 ,4H*L995 ,4H*L996 ,4H*L997 ,4H*L998 ,4H*L999 ,
    151 4H*L999 ,4H*L1000 ,4H*L1001 ,4H*L1002 ,4H*L1003 ,4H*L1004 ,4H*L1005 ,
    152 4H*L1006 ,4H*L1007 ,4H*L1008 ,4H*L1009 ,4H*L10010 ,4H*L10011 ,4H*L10012 ,
    153 4H*L10013 ,4H*L10014 ,4H*L10015 ,4H*L10016 ,4H*L10017 ,4H*L10018 ,4H*L10019 ,
    154 4H*L10019 ,4H*L10020 ,4H*L10021 ,4H*L10022 ,4H*L10023 ,4H*L10024 ,4H*L10025 ,
    155 4H*L10026 ,4H*L10027 ,4H*L10028 ,4H*L10029 ,4H*L10030 ,4H*L10031 ,4H*L10032 ,
    156 4H*L10033 ,4H*L10034 ,4H*L10035 ,4H*L10036 ,4H*L10037 ,4H*L10038 ,4H*L10039 ,
    157 4H*L10039 ,4H*L10040 ,4H*L10041 ,4H*L10042 ,4H*L10043 ,4H*L10044 ,4H*L10045 ,
    158 4H*L10046 ,4H*L10047 ,4H*L10048 ,4H*L10049 ,4H*L10050 ,4H*L10051 ,4H*L10052 ,
    159 4H*L10053 ,4H*L10054 ,4H*L10055 ,4H*L10056 ,4H*L10057 ,4H*L10058 ,4H*L10059 ,
    160 4H*L10059 ,4H*L10060 ,4H*L10061 ,4H*L10062 ,4H*L10063 ,4H*L10064 ,4H*L10065 ,
    161 4H*L10066 ,4H*L10067 ,4H*L10068 ,4H*L10069 ,4H*L10070 ,4H*L10071 ,4H*L10072 ,
    162 4H*L10073 ,4H*L10074 ,4H*L10075 ,4H*L10076 ,4H*L10077 ,4H*L10078 ,4H*L10079 ,
    163 4H*L10079 ,4H*L10080 ,4H*L10081 ,4H*L10082 ,4H*L10083 ,4H*L10084 ,4H*L10085 ,
    164 4H*L10086 ,4H*L10087 ,4H*L10088 ,4H*L10089 ,4H*L10090 ,4H*L10091 ,4H*L10092 ,
    165 4H*L10093 ,4H*L10094 ,4H*L10095 ,4H*L10096 ,4H*L10097 ,4H*L10098 ,4H*L10099 ,
    166 4H*L10099 ,4H*L100100 ,4H*L100101 ,4H*L100102 ,4H*L100103 ,4H*L100104 ,4H*L100105 ,
    167 4H*L100106 ,4H*L100107 ,4H*L100108 ,4H*L100109 ,4H*L100110 ,4H*L100111 ,4H*L100112 ,
    168 4H*L100113 ,4H*L100114 ,4H*L100115 ,4H*L100116 ,4H*L100117 ,4H*L100118 ,4H*L100119 ,
    169 4H*L100119 ,4H*L100120 ,4H*L100121 ,4H*L100122 ,4H*L100123 ,4H*L100124 ,4H*L100125 ,
    170 4H*L100126 ,4H*L100127 ,4H*L100128 ,4H*L100129 ,4H*L100130 ,4H*L100131 ,4H*L100132 ,
    171 4H*L100133 ,4H*L100134 ,4H*L100135 ,4H*L100136 ,4H*L100137 ,4H*L100138 ,4H*L100139 ,
    172 4H*L100139 ,4H*L100140 ,4H*L100141 ,4H*L100142 ,4H*L100143 ,4H*L100144 ,4H*L100145 ,
    173 4H*L100146 ,4H*L100147 ,4H*L100148 ,4H*L100149 ,4H*L100150 ,4H*L100151 ,4H*L100152 ,
    174 4H*L100153 ,4H*L100154 ,4H*L100155 ,4H*L100156 ,4H*L100157 ,4H*L100158 ,4H*L100159 ,
    175 4H*L100159 ,4H*L100160 ,4H*L100161 ,4H*L100162 ,4H*L100163 ,4H*L100164 ,4H*L100165 ,
    176 4H*L100166 ,4H*L100167 ,4H*L100168 ,4H*L100169 ,4H*L100170 ,4H*L100171 ,4H*L100172 ,
    177 4H*L100173 ,4H*L100174 ,4H*L100175 ,4H*L100176 ,4H*L100177 ,4H*L100178 ,4H*L100179 ,
    178 4H*L100179 ,4H*L100180 ,4H*L100181 ,4H*L100182 ,4H*L100183 ,4H*L100184 ,4H*L100185 ,
    179 4H*L100186 ,4H*L100187 ,4H*L100188 ,4H*L100189 ,4H*L100190 ,4H*L100191 ,4H*L100192 ,
    180 4H*L100193 ,4H*L100194 ,4H*L100195 ,4H*L100196 ,4H*L100197 ,4H*L100198 ,4H*L100199 ,
    181 4H*L100199 ,4H*L100200 ,4H*L100201 ,4H*L100202 ,4H*L100203 ,4H*L100204 ,4H*L100205 ,
    182 4H*L100206 ,4H*L100207 ,4H*L100208 ,4H*L100209 ,4H*L100210 ,4H*L100211 ,4H*L100212 ,
    183 4H*L100213 ,4H*L100214 ,4H*L100215 ,4H*L100216 ,4H*L100217 ,4H*L100218 ,4H*L100219 ,
    184 4H*L100219 ,4H*L100220 ,4H*L100221 ,4H*L100222 ,4H*L100223 ,4H*L100224 ,4H*L100225 ,
    185 4H*L100226 ,4H*L100227 ,4H*L100228 ,4H*L100229 ,4H*L100230 ,4H*L100231 ,4H*L100232 ,
    186 4H*L100233 ,4H*L100234 ,4H*L100235 ,4H*L100236 ,4H*L100237 ,4H*L100238 ,4H*L100239 ,
    187 4H*L100239 ,4H*L100240 ,4H*L100241 ,4H*L100242 ,4H*L100243 ,4H*L100244 ,4H*L100245 ,
    188 4H*L100246 ,4H*L100247 ,4H*L100248 ,4H*L100249 ,4H*L100
```

```

FUNCTION EVALUE(CX,INDEX)
DIMENSION ISECT(111),ISEL(0P(111,10),ITCONS(111,10,10)
1   JUMP(111,10,10),V(50),Z(1U)
COMMON ISECT,ISECOP,ITCONS,JUMP,V
C
C   X *** INDEPENDENT VARIABLE
C   ISECT ... NUMBER OF SECTION
C   ISECOP ... TABLE OF INDEX FOR CONSTANTS ACCOMPANIED WITH EACH OPERATOR
C   ITCONS ... TABLE OF INDEX FOR OPERATORS
C   JUMP ... TABLE OF INDEX FOR OPERATORS
C   V ... V(1)-V(10)=UNKNOWN COEFFICIENTS + V(11)-V(20)=CONSTANTS
C   INDEX ... IDENTIFICATION FOR FUNCTIONS
C
C   ISECT=ISECT(INDEX)
IF(ISECT.EQ.0) GO TO 60
C
DO 50 M=1,ISECT
NOP=ISECOP(INDEX,M)
Y=X
DO 50 N=1,NOP
1 JUMP=JUMP(INDEX,M,N)
K=ITCONS(INDEX,M,N)
IF(JUMP.GT.10) GO TO 15
C
      GO TO (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10),JUMP
1 Y=Y*V(K)
Z(M)=Y
GO TO 50
2 Y=**V(K)
Z(M)=Y
GO TO 50
3 Y=***(K)
Z(M)=Y
GO TO 50
4 Y=EXP(Y)
Z(M)=Y
GO TO 50
5 Y=SIN(Y)
Z(M)=Y
GO TO 50
6 Y=COS(Y)
Z(M)=Y
GO TO 50
7 Y=ARSIN(Y)
Z(M)=Y
GO TO 50
8 Y=ARCCOS(Y)
Z(M)=Y
GO TO 50
9 Y=ALOG(Y)
Z(M)=Y
GO TO 50
C
10 Y=Y**IN(V(K))
Z(M)=Y
C
C   GO TO 50
C
C   15 IF(IJUMP.GT.20) GO TO 20
ITEM=IJUMP-10
IF(ITEM.GE.M) GO TO 100
Y=Y+Z(ITEM)
Z(M)=Y
GO TO 50
C
C   20 IF(IJUMP.GT.30) GO TO 30
ITEM=IJUMP-20
IF(ITEM.GE.M) GO TO 110
Y=Y+Z(ITEM)
Z(M)=Y
GO TO 50
C
C   30 ITEM=IJUMP-30
IF(ITEM.GE.M) GO TO 120
Y=Y**Z(ITEM)
Z(M)=Y
50 CONTINUE
C
C   EVALUE=Y
RETURN
C
C   60 EVALUE=0.0
RETURN
C
C   100 WRITE(6,600) INDEX,NM
GO TO 140
110 WRITE(6,610) INDEX,NM
GO TO 140
120 WRITE(6,620) INDEX,NM
140 STOP
C
C   600 FORMAT(1H0,48H INPUT MISS OR PROCEDURE MISS ----- (FUNCTION NO.=,13,
12X,12H SECTION NO.=,11,2H TH OPERATION .,*Z1)
610 FORMAT(1H0,48H INPUT MISS OR PROCEDURE MISS ----- (FUNCTION NO.=,13,
12X,12H SECTION NO.=,11,2X,1H,1,2H TH OPERATION .,*Z1)
620 FORMAT(1H0,48H INPUT MISS OR PROCEDURE MISS ----- (FUNCTION NO.=,13,
12X,12H SECTION NO.=,11,2X,1H,11,2H TH OPERATION .,*Z1)
END
C

```