山岳多重回折電界強度の電子計算機による自動計算法

東北大学工学部 長 沢 庸 二
佐 藤 利 三 郎

VHF, UHF 帯域の伝搬波には, (i) 直接波, (ii) 反射波, (iii) 回折波が存在し, 理論的に電界強度を算出するのは非常に複雑となる. ここでは, (i) および (iii) を考慮した電界強度の算出を電子計算機を用いて自動的に行うことを考え, そのプログラム例を示した.

1. ま え が き

テレビ放送等の普及に伴い, VHF, UHF 帯の電波伝搬の様子をあらかじめ推定しておくことは, 今後の電波の利用の上からも大変重要な問題である. しかし実際にテレビ放送塔等から放射された電波を考えると, その伝搬の様子は大変複雑なものとなる. ここでは, 野邑により提案された山岳多重回折電界強度計算法¹⁾²⁾について考える. すなわち電波伝搬の経路としては, (i) 直接波, (ii) 山岳による(多重)回折波, 等によるものだけを考え, 大地での反射経路は考えない.

この方式をとり上げた理由は, 佐藤らの報告³⁾にもあるように, 野邑の方法は特に山岳地帯においては実測値とよく一致していることによる. 実際に野邑の方法により多重回折波の電界強度を求めるのは, 文献 3) にもあるように非常に複雑な計算過程が要求される. そこで計算をすべて電子計算機に行わせることを考え, 実際に計算機に問題を解かせる場合に生ずる種々な問題点の解決法について述べ, プログラミングのためのフローチャートを示すと同時に, プログラミング例を示している.

2. 野 邑 の 計 算 法^{1)~3)}

ここでは, 本論文でとり上げた野邑の計算法について簡単に結果の式だけを示しておく.

図1に示すように, 送受信点を含む地球の鉛直断面を考えて, 山岳を断面に垂直に置かれた鉛直障壁の水平稜線とみて理論解析を行う. 鉛直障壁を横切らないように断面内で山頂を折線で結び, それぞれを1つの伝搬経路と考える. したがって山岳が送受信点間に多数存在すれば伝搬経路も非常に増大する(見通しの位置にある山岳

図1 山岳回折の例

では, 直接波によるものと, その間にある山岳により回折する伝搬経路の両方を考慮しなければならない. この場合, 実際には大地による反射波の経路も存在するが, ここでは特に山岳多重回折に重点を置き, 直接波および回折波以外はすべて無視している.

いま, m 番目の伝搬経路による回折波の強度を E_m , 自由空間伝搬における強度を E_0 , それらの比(伝搬比)を S_m とすれば, 受信点における電界強度 E は,

$$E_{(\text{dB})} = E_{0(\text{dB})} + \left| \sum_{m=1}^M S_m \right|_{\text{dB}} \quad (1)$$

で与えられる. ここで伝搬比 S_m は,

$$S_m = \frac{E_m}{E_0} = \left[\prod_{i=2}^{n-1} \frac{\sin \frac{\delta_i}{2}}{2} \right] \cdot \prod_{i=2}^{n-1} f(T_i) e^{-jk\Delta_n} \quad (2)$$

で与えられる. (2)式におけるそれぞれのパラメーターは図1を参照して次式で定められる.

$$\left. \begin{aligned} \Delta_n &= R_n - \overline{PQ}, \quad R_n = \sum_{i=1}^{n-1} d_i \\ T_i &= 2\sqrt{\frac{k}{2} \cdot \frac{a_i}{R_n}} \cdot \left| \sin \frac{\delta_i}{2} \right| \quad (i=2, 3, \dots, n-1) \\ k &= 2\pi/\lambda \quad (\lambda: \text{波長}) \\ \delta_i &= \text{山岳 } i \text{ による回折角 } (i=2, 3, \dots, n-1) \\ &(\text{図1では } \delta_2 > 0, \delta_3 < 0, \dots, \delta_{n-1} < 0) \\ a_i &= \left\{ \left(d_{i-1} \sum_{l=i}^{n-1} d_l \right) / \left(\sum_{l=i-1}^{n-1} d_l \right) \right\} R_n \end{aligned} \right\}$$

"Computer Program for Calculation on Multi-diffraction Field Intensity in Mountainous Region" Yoji Nagasawa and Risaburo Sato (Faculty of Engineering, Tohoku University, Sendai)

$$f(T_i) = \frac{1}{2} \exp\{jT_i^2\} - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp\left\{j\left(\frac{\pi}{4} + T_i^2\right)\right\} \{C(T_i) - jS(T_i)\} \quad (i=2, 3, \dots, n-1)$$

$$C(T_i) = \int_0^{T_i} \cos(X^2) dX$$

$$S(T_i) = \int_0^{T_i} \sin(X^2) dX \quad (i=2, 3, \dots, n-1)$$

(3)

3. 電子計算機による数値計算

実際に送受信点が決めた場合、数値計算を行ううえにおいて与えられるデータは、

① 送信点における送信条件

送信周波数
送信アンテナ利得
送信電力

② 送受信点間のプロフィール

送受信点を含めた回折を予想する山岳の送信点からの距離と海拔（山岳の高さ）。

である。これらの条件より受信点電界強度を求める手法は図2に示すフローチャートで与えられる。

3.1 入力データ

①に関しては送信条件であるから問題はない。ただし実際にプログラム入力としては、送信周波数：MHz、送信アンテナ利得：dB、送信電力：kW を単位として与え

図2 フローチャート

た。

②に関しては、実際に地図の上で送受信点を結び、その地形断面図をもとに回折を予想する山岳を求め、送信点よりの距離： $P(i)$ (km) および、山岳の海拔高： $H(i)$ (m) を求める。実際のプログラミングにおいては、送受信点を含めて $i \leq 20$ と設定した。

3.2 地球の彎曲を考慮したプロフィール

入力データ②で与えられるプロフィールを実際に示すと、図3のように彎曲面にそったものである。これを平面上に変換する。すなわち、地球を完全球（等価半径 $R_0 = 8500$ km とする）と考え、送信点の高さを h_1 、受信点の高さを h_n 、それぞれ回折を予想する山岳までの距離を送信点を基準にして測定し l_i とする。またそれぞれの山岳の高さを h_i とする。図3を参照しながら、 l_i は次のように与えられる。

$$l_1 = 0$$

$$l_i = a_1 a_i \quad (a_i \text{ は山岳に付した番号})$$

平面上に変換する場合、地球の断面図で考えた電波の回折角が変化しないように、また、山頂間の距離が変化しないように行わなければならない。平面上での山岳の高さおよび送信点からの距離をそれぞれ H_i, L_i とすると h_i, l_i との関係は、図3を参照しながら次のように求める。

$$\theta_n = \angle a_1 O a_n \quad (4)$$

とすれば、

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= h_1 + R_0(1 - \cos \theta_n) \\ L_n &= (R_0 + h_n) \sin \theta_n \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

同様に i 番目の山岳に着目すれば、

$$\theta_i = \angle a_1 O a_i \quad (6)$$

とすれば、

図3 水平大地面への変換

$$\left. \begin{aligned} H_i &= h_i \cos \theta_i + R_0(\cos \theta_i - \cos \theta_n) \\ L_i &= (R_0 + h_i) \sin \theta_i \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

と与えられる。

以上より回折経路の算定には図3に示す平面大地上に変換したプロフィールを基礎として求めることができる。

3.3 回折経路の算定

山岳回折の計算では電波は常に受信点へ向って進むと考える。

回折経路を求めるには、まず図3に示す回折地点 A_i に注目し、 A_i から見通しの位置にある山岳 A_j を求める ($i < j$)。

〔算定の手順〕

(1) 山岳 A_i を固定し、山岳 $A_j (j = i+1, i+2 \dots N)$ に対し、それぞれの山頂を直線で結びその勾配を K_j とする。

(2) A_i と A_{i+1} は常に見通しの位置にある。

(3) $j = i+2$ とする。 $K_0 = K_{i+1}$ とする。

(4) $K_0 \geq K_j$ であれば山岳 A_i と山岳 A_j は見通しの位置にない。

$K_0 < K_j$ であれば山岳 A_i と山岳 A_j は見通しの位置にある。

(5) (4)で A_i と A_j が見通しの位置にあるときは $K_0 = K_j$ と置きなおす。

(6) $j = j+1$ と置きなおして(4)～(5)を繰返す。

以上の操作により、それぞれの山岳から見通しの位置にある山岳が求められる。この見通しの位置にあるかどうかを示す行列表示を $[S]$ とし、本論文ではこれを接続行列と呼ぶことにする。 $[S]$ は $(N \times N)$ の正方行列であり (N は送受信点を含んだ回折を仮定する山岳の数) i 番目の山岳に着目したとき、 j 番目の山岳 ($i < j$) が見通しの位置にあれば $[S]$ の要素 $S_{(i,j)}$ に対し、

$$S_{(i,j)} = j \quad (8)$$

と定める。また、山岳 i より山岳 j が見通せない場合は $[S]$ の要素 $S_{(i,j)}$ は、

$$S_{(i,j)} = 0 \quad (9)$$

と定義する。たとえば、図4に示す山岳回折の例では、接続行列 $[S]$ は次のように与えられる。

図4 例題

$$[S] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 4 & 0 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (10)$$

ここで、山岳1より N への経路を求める問題はグラフ理論において、“有向グラフにおける有向路を求めること”に帰着される⁵⁾。

ここで次のような演算を定義する。

マトリックス $A'(m \times n)$, $B'(n \times l)$ の積を $A(m \times l)$ とするとき、

$$\begin{aligned} [A] &= [A'] \times [B'] \\ A_{(i,j)} &= A'_{(i,1)} * B'_{(1,j)} \oplus A'_{(i,2)} * B'_{(2,j)} \oplus \dots \\ &\quad \oplus \dots \oplus A'_{(i,n)} * B'_{(n,j)} \end{aligned}$$

ただし演算記号に関する定義は、

$$\left. \begin{aligned} a * 0 &= 0 * a = 0 \\ a * b &\doteq b * a \\ a \oplus b &= b \oplus a, \quad a \oplus 0 = a \\ (a \oplus b) * c &= a * c \oplus b * c \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

である。

まず、接続行列 $[S]$ の2乗を求める。前述の例題では演算定義に従って、

$$[S]^2 = [S][S] = [S_2] \quad (12)$$

とすれば $[S_2]$ は次式で与えられる。

$$[S_2] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2*3 & 2*4 & 0 & 2*6 \\ 0 & 0 & 0 & 3*4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4*5 & 4*6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5*6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$[S_2]$ の (i,j) 要素を $S_{2(i,j)}$ と表示すれば、

$$S_{2(1,3)} = 2*3, \quad S_{2(1,6)} = 2*6$$

の示す内容は、“山岳1より山岳3へ、あるいは山岳1より山岳6への経路として途中山岳2を経由するものがある”ことを示している。

同様に $[S_i]$ を、

$$[S_i] = [S]^i = [S_{i-1}][S] \quad (14)$$

で定める。このとき $S_{i(j,k)}$ がゼロでなければ、山岳 j より山岳 k への経路として途中山岳を $i-1$ 個経由する経路を示している。

以上より送信点 (山岳1) より受信点 (山岳 N) への経路としては、 $[S_i]$ の中で $S_{i(1,N)}$ に注目すればよく、全経路は、

$$\bigoplus_{i=1}^N S_{i(1,N)}$$

で与えられる。ここで $\oplus \Sigma$ は(13)式で定義した演算に従う総和をとるものとする⁴⁾。

例題について考察すると次のように与えられる。

$$\begin{aligned} \{S_3\} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 2*3*4 & 2*4*5 & 2*4*6 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \\ \{S_4\} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 2*3*4*5 & 2*3*4*6 \oplus 2*4*5*6 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \\ \{S_5\} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2*3*4*5*6 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \\ \{S_6\} &= [0] \end{aligned}$$

故に全経路 $\oplus \sum_{i=1}^N S_{i(1,6)}$ は、(10)式、(13)式も含め、

$$\begin{aligned} \oplus \sum_{i=1}^N S_{i(1,6)} &= 2*6 \oplus 2*4*6 \oplus 2*3*4*6 \\ &\quad \oplus 2*4*5*6 \oplus 2*3*4*5*6 \end{aligned}$$

と与えられる。

〔電子計算機による伝搬経路の算定〕

マトリックス $\{S_i\}$ は(14)式により定義されることより、山岳 1 より山岳 N への経路に着目している場合は $\{S_i\}$ の 1 行目だけが定まれば他の要素は経路算定には関係がない。そこで $S_{i(1,k)}$ を次のようにマトリックスとして考える。

$$S_{i(1,k)} = \{R_k\} \quad (15)$$

ここで $\{R_k\}$ は $(M \times N)$ であり、 M は $S_{i(1,k)}$ の中に含まれる経路数により要求される大きさは異なるが、ある程度の大きさを与えておく (15~20 位)。たとえば $S_{i(1,k)}$ が(16)式で与えられる場合、 $\{R_k\}$ は $M=4$ と仮定したとき(17)式のように定義する。

$$S_{i(1,k)} = 2*3*6 \oplus 2*5*6 \quad (16)$$

$$\{R_k\} = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 0 & 0 & 6 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 5 & 6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (N=6 \text{ とする}) \quad (17)$$

以上より $S_{i(1,k)}$ ($k=1, 2, \dots, N$) に対して 3 次元マトリックス $\{RS\}$ ($N \times M \times N$) を対応させることができる。したがって両者の関係は、

$$\begin{aligned} S_{i(1,k)} &= \{R_k\} \\ &= RS_{(1,k',n)} \end{aligned} \quad (18)$$

$$k'=1, 2, \dots, M, \quad n=1, 2, \dots, N$$

で与えられる。これにより演算定義に従ったマトリックス表示が可能となる。

4. 流れ線図

前章までで計算のやり方をくわしく考察したが、それ

図 5 接続行列フローチャート

らをまとめる意味で全体の流れ線図を示す。図 5 には接続行列を求めるフローチャートを、図 6 には接続行列より回折経路を求める手法を、さらに図 7 には回折経路より全伝搬比を求めるフローチャートを示す。

5. 計算例

ここでは文献 3) で計算されている例をとりあげてみる。

〔例題〕

○送信点：仙台市大年寺山（海拔 120m，アンテナの高さ 60m）

送信電力 5 kW

周波数 105 MHz

アンテナ利得 7 dB

○受信点：岩手県釜石市篠倉山（海拔 570m）

送受信点間のプロファイルは図 8 で与えられる。ここで電波回折を仮定する山岳を 8 つ仮定し、送信点を含めて

10地点について回折経路を求め計算した総合受信電界強度を表1に示す.

なおプログラミング例は付録に示した.

実際に仙台市大年寺山から送信し、岩手県釜石市篠倉

6. む す び

山岳多重回折電界強度の計算法には種々な方法があるが、ここでは山岳地帯における実測値と比較的よく一致する野邑の計算法をとり上げ、自動計算プログラムを完成した。入力データとしては送受信点間のプロフィールと

表 1 計 算 結 果

SEISUJOKU-GYOHRETSU										
1	0	2	0	0	5	0	0	0	0	0
2	0	0	3	0	5	0	0	0	0	0
3	0	0	0	4	5	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	6	0	8	0	0
6	0	0	0	0	0	0	7	8	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

KAISETSU-KEIRO										
1	1	0	0	0	5	0	0	8	9	10
2	1	2	0	0	5	0	0	8	9	10
3	1	0	0	0	5	6	0	8	9	10
4	1	2	3	0	5	0	0	8	9	10
5	1	2	0	0	5	6	0	8	9	10
6	1	0	0	0	5	6	7	8	9	10
7	1	2	3	4	5	0	0	8	9	10
8	1	2	3	0	5	6	0	8	9	10
9	1	2	0	0	5	6	7	8	9	10
10	1	2	3	4	5	6	0	8	9	10
11	1	2	3	0	5	6	7	8	9	10
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

KAISETSU LOSS				DENPAN KEIRO										
.0065916	J	-.0002922	1	1	5	8	9	10						
.0014370	J	.0015755	2	1	2	5	8	9	10					
-.0004153	J	-.0009317	3	1	5	6	8	9	10					
.0003319	J	.0004479	4	1	2	3	5	8	9	10				
-.0001202	J	-.0003115	5	1	2	5	6	8	9	10				
.0003291	J	.0003250	6	1	5	6	7	8	9	10				
.0000860	J	-.0000131	7	1	2	3	4	5	8	9	10			
-.0000875	J	.0000237	8	1	2	3	5	6	8	9	10			
.0000329	J	-.0001478	9	1	2	5	6	7	8	9	10			
-.0000112	J	.0000104	10	1	2	3	4	5	6	8	9	10		
-.0000204	J	.0000357	11	1	2	3	5	6	7	8	9	10		
-.0000051	J	.0000047	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
TOTAL LOSS .00815				.00008										

SOSHIN TEN	SENDAI-SHI	DAINENJI-YAMA
SYUHASUU	105.0 MHZ	
ANTENNA RITOKU	7.0 DB	
SOSHIN DENRYOKU	5.0 KW	
JUSHIN TEN	KAMAISHI-SHI	SHINOKURA-YAMA
JYUJYU KUUKAN DENKAI KYODO	77.96873 DB	
JUSHIN TEN DENKAI KYODO	36.19076 DB	

送信条件（周波数，送信電力およびアンテナ利得）を与える．プロフィールを描くには人手を必要とするが，計算機の占有メモリーの点を考慮すると，自動計算プログラムとしては妥当なところと考える．

なお，数値計算はすべて東北大学計算機センターの NEAC 2200 MODEL 700 を利用した．

本研究を行うにあたり，名古屋工業大学 池田哲夫助教授に種々御検討をいただいた．ここに感謝致します．

(昭和 48 年 5 月 10 日受付，昭和 48 年 8 月 9 日再受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) Y. Nomura: On the theory of diffraction of electric

wave by many parallel screen, Sci. Rep. RITU, B-(Elect. Comm.) 4, 2 (1953)

- 2) Y. Nomura: On the method of estimating electric field intensity in UHF propagation in mountainous region, Sci. Rep. RITU, B-(Elect. Comm.) 6, 3/4 (1955)
- 3) 佐藤，太田：超短波領域における山岳多重回折電界強度の計算法および計算例，東北大学電通談話会記録，33, 1 (1964)
- 4) I.M. Paz: Path finding theory a communication network, Proc. IEE, 114 (1967)
- 5) Frank Harary: Graph Theory, Addison-Wesley Publishing Company, (1969)

付表 プログラムリスト

```

C ***** PROGRAM WA NOSHURA-NOSHOKI NI YORU SANGAKU TAJUU KAISETSU DENKAI
C KYODO NO KEISAN DESU
C
C INPUT DATA
C CARD 2 SOSHII TEN CHIMEI (ROMA-JI, DAI-1 COLUMN YORI)
SYUJUSHASU(FREQ) (MWZ)
ATEIWA KONTISU(ETAI) (DB)
SOSHIN DENHYOKU(POWER) (KW)
(FORMAT 3F10.2)
C 3 JUSHIN TEN CHIMEI (ROMA-JI, DAI-1 COLUMN YORI)
KAISETSU TEN NO KAZUIN (IN WA SOSHIN, JUSHIN
ATEIWA O FUKUMU, N WA 20 IKA) (FORMAT 12)
C 5=1 KAISETSU TEN NO ICHI(PO) (KW) (FORMAT 3F10.2)
5=(5-3) N GA 9(17) LJYO NO TOKI NI SHIYO SURU
6=1 KAISETSU TEN NO TAKASAHU(H) (METER)
(FORMAT 3F10.2)
C 7=2(6-3) N GA 9(17) LJYO NO TOKI NI SHIYO SURU
DATA CARD NO SAIGO NI DAI-1 COLUMN YORI (DAI-1 TO
PUNCHI SHITE KEISAN O STOP SASERU)
C
0001 STRING ARES,ASEND
0002 COMPLEX FT=5*SHUSI*EQAM
0003 DIMENSION ASEND(10),ARES(10),AIZO(1),AP(20),AP(20),IH(20),
1 IS(20,20),ND(40,20),I5S(20,10,20),I5S0(20,10,20),NICH(20),
2 D(120),XMI(20)
C
0004 READ(5,1001) ASEND
0005 READ(5,1001) FREQ,ETA,POWER
0006 R=6375000.0
0007 PEE=3.0/(1+0.8R)
0008 PA1=3.141592654
0009 DP=PA1/0.5087(PA1)
0010 A=2.0*DP*PA1
0011 AC=0.37*DP*PA1
0012 AZ=0.5*SQRT(AB)
0013 MAHD=300.0/FREQ
0014 9000 CONTINUE
0015 READ(5,1001) ARES
0016 IF(ARES(1),AED,SHDARI) 3 GO TO 9800
0017 READ(5,1) IH
0018 IF(IH,GT,20) GO TO 9900
0019 READ(5,2) (PP(I),I=1,N)
0020 READ(5,2) (HH(I),I=1,N)
0021 DO 70 K=1,N
0022 DO 71 KK=1,40
0023 71 J=KK/K,10
0024 DO 72 KK=1,N
0025 72 IS(K,K)=0
0026 DO 73 KK=1,10
0027 DO 73 KKK=1,X
0028 73 I5SD(K,K,K,K)=0
0029 70 CONTINUE
0030 DO 9801 I=1,N
0031 PP(I)=EXP(I1)*I5SD(0,0)
0032 P1=PP(I1)
0033 9801 H1(I)=H(I1)
0034 T=PP(I)*R
0035 S1=S1*H(I1)
0036 P1=H(I1)*CT
0037 P1(I)=R*(H(I1)+S1
0038 H1(I)=(I1+P1*(I1+O-CT)
0039 H1(N)=H1(N)*CT
0040 M=N-1
0041 DO 40 I=2,N
0042 DO 3 I=2,N
0043 T=PP(I)*R
0044 P1(I)=R*(H(I1)+S1*H(I1)
0045 H1(I)=(H1(I)+P1*(I1+O-CT)
0046 P2=SQRT(P1)*P1*(I1+O-CT)
0047 I=0
0048 7 I=1
0049 7 I=1
0050 DO 4 J=1,N
0051 4 A1(I)=H1(I)*J-H1(I1)*(P(J)-PP(I1)
0052 I=1+J
0053 IF(I1,E=N) GO TO 10
0054 J=1+I
0055 A1(A1(I),I)
0056 6 J=1+I
0057 IF(J,LT,T,AJ) GO TO 5
0058 S11=I1*(I1+O-CT)
0059 A1(A1(I)
0060 5 IF(J,LT,N) GO TO 6
0061 IF(I1,LT,I-1) GO TO 7
0062 10 CONTINUE
0063 WRITE(6,52)
0064 DO 55 I=1,N
0065 WRITE(6,51) K=IS(K,I),I=1,N)
0066 55 CONTINUE
0067 I=1
0068 I=0
0069 DO 11 I=1,N
0070 11 I=1,I=1,I=IS(I,I)
0071 10 DO 12 I=1,N
0072 DO 12 I=1,I=10
0073 DO 12 I=1,N
0074 I=IS(I,I)+I5S(I,I)*K
0075 12 I=1,I=1,I=0
0076 J=0
0077 15 J=1
0078 IF(I5SD(I,I),I+FO.0) GO TO 13
0079 IF(J=1
0080 DO 14 I=1,I=0
0081 H1(I)=I1+I5SD(I,I)*J
0082 MD(I,I)=1
0083 GO TO 15
0084 13 I=1,I=1
0085 I=0

```

[illegible]

付表 プログラムリスト

0001	SUBROUTINE CXSX(X,CX, SX)	0033	G0=0.0
0002	PAI=3.141592654	0034	C=1.0/SORT(2.0*PAI*X)
0003	X2=X*X	0035	F=1.0
0004	IF(X.GE.25.0) GO TO 5	0036	G=0.5
0005	CX0=0.0	0037	CJ=-1.0
0006	SX0=0.0	0038	SI=SIN(X)
0007	C=2.0*X/PAI	0039	CO=COS(X)
0008	C=SQRT(C)	0040	FN=1.0
0009	CX=1.0	0041	GI=0.5
0010	SX=1.0/3.0	0042	X4=0.75/X2
0011	CJ=-1.0	0043	N=0
0012	CX1=1.0	0044	N=N+1
0013	SX1=1.0	0045	A=FLOAT(N)
0014	N=0	0046	B=4.0*A
0015	10 N=N+1	0047	FA=FN*(A-1.0)*(B-3.0)*X4
0016	CX1=CX1*X2/FLOAT((2*N)*(2*N-1))	0048	GA=GI*(B+1.0)*(B-1.0)*X4
0017	CX=CX+CX1/FLOAT(4*N+1)*CJ	0049	F=FA
0018	SX1=SX1*X2/FLOAT((2*N+1)*2*N)	0050	GN=GA
0019	SX=SX+SX1/FLOAT(4*N+3)*CJ	0051	F=F+FN*CJ
0020	CJ=CJ	0052	G=G+GI*CJ
0021	XI=XI*X2	0053	CJ=-CJ
0022	DCX=ABS((CX-CX0)/CX)	0054	DG=ABS((G-G0)/G)
0023	DSX=ABS((SX-SX0)/SX)	0055	DF=ABS((F-F0)/F)
0024	CX0=CX	0056	G0=G
0025	SX0=SX	0057	F0=F
0026	IF(DCX.GE.1.0E-8) GO TO 10	0058	IF(DF.GE.1.0E-8) GO TO 6
0027	IF(DSX.GE.1.0E-8) GO TO 10	0059	IF(DG.GE.1.0E-8) GO TO 6
0028	CX=CX*C	0060	F=F*C
0029	SX=SX*C*X	0061	G=G*C/X
0030	RETURN	0062	CX=0.5*F*SI-G*CO
0031	5 CONTINUE	0063	SX=0.5*F*CO-G*SI
0032	END	0064	RETURN
		0065	END