プログラムのページ (担当　鈴木　誠道)

75-03 だ円型境界値問題解析プログラム

森 本 義 広*　松 山 公 一*

ディリクレおよびノイマン条件の課せられただ円型境界値問題を差分法で数値解法するプログラムを作成した．汎用プログラムを作成する場合に必要な，ポテンシャル領域の記憶と領域の内外にある格子点の識別および，不規則な mesh 上にある格子点（すなわち，境界に隣接した格子点）の処理等について説明する．

1. だ円型偏微分方程式と差分表示

以下，発散が零の２次元場について考える．偏微分方程式 $\mathrm{div}(\varepsilon\,\mathrm{grad}\,\phi)=0$ は，ガウスの定理より，

$$\iiint_V \mathrm{div}(\varepsilon\,\mathrm{grad}\,\phi)\,dv=\iint_S \varepsilon(\mathrm{grad}\,\phi)\cdot\boldsymbol{n}\,ds$$
$$=\int_l \varepsilon(\mathrm{grad}\,\phi)\cdot\boldsymbol{n}\,dl \quad (1)$$

これを，境界条件，$\phi=f(x,y)$ あるいは $\partial\phi/\partial n=g(x,y)$ のもとに数値的に解く．この場合，領域内をある正方 mesh で区分して，格子点上のポテンシャル ϕ を隣接の４つの格子点上のポテンシャルで差分近似する．例えば，**Fig. 1, Fig. 2** の場合，(1)式の線積分の経路 l として，点線に沿った閉曲線を考えると，それぞれ，次式で与えられる．

$$\phi_{i,j}=\{(\varepsilon_1+\varepsilon_8)\phi_{i+1,j}+(\varepsilon_2+\varepsilon_3)\phi_{i,j+1}+(\varepsilon_4+\varepsilon_5)\phi_{i-1,j}+(\varepsilon_6+\varepsilon_7)\phi_{i,j-1}\}\Big/\sum_{k=1}^{8}\varepsilon_k \quad (2)$$

$$\phi_{i,j}=\Big\{(\varepsilon_4 d_N+\varepsilon_5 d_S)\frac{\partial\phi}{\partial n}\Big|_W\cos\alpha+(\varepsilon_2 d_E+\varepsilon_3 d_W)\times\frac{\partial\phi}{\partial n}\Big|_N\sin\alpha+(\varepsilon_1 d_N+\varepsilon_8 d_S)\frac{\phi_E}{d_E}+(\varepsilon_6 d_W+\varepsilon_7 d_E)\frac{\phi_{i,j-1}}{d_S}\Big\}\Big/\Big\{\frac{\varepsilon_1 d_N+\varepsilon_8 d_S}{d_E}+\frac{\varepsilon_6 d_W+\varepsilon_7 d_E}{d_S}\Big\}$$

ここに，$\begin{cases}\varepsilon: 媒質定数\\ d: 格子間隔\end{cases}$　(3)

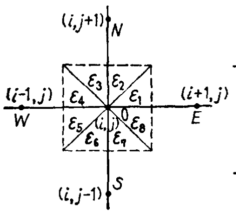


Fig. 1 正方格子点

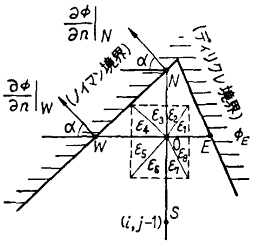


Fig. 2 境界近傍格子点

* 熊本大学工学部電気工学科

これらを，S.O.R. 法 $\phi_{i,j}{}^{(n+1)}=\phi_{i,j}{}^{(n)}+\omega(\phi_{i,j}-\phi_{i,j}{}^{(n)})$ で求める．ただし，n は繰返し回数を示す．

2. 汎用プログラムの概要

入力情報をできるだけ少なくするという点に主眼を置いたため，取り扱いうるだ円型境界値問題には次に挙げるいくつかの制約を課した．

制約 1. 領域はその境界が直線分によって折れ線近似される単連結なものとする．

制約 2. ディリクレ，およびノイマン条件は境界に沿って直線状に変化するものとする．

制約 3. 領域内に異なった媒質が存在する場合には，媒質相互間の境界線は格子点上を通るものとする．

Fig. 3（次頁参照）に示す流れ図に従って，主要なサブルーチンの機能を説明する．

入力データ：

ポテンシャル計算に必要な最小限の入力情報を読みこむ．主なデータは以下のようである．

① 境界線の端点座標 (X_i, Y_i)，端点上のディリクレ条件 $\phi_i=f(X_i, Y_i)$ あるいはノイマン条件 $\partial\phi/\partial n=g(X_i, Y_i)$

② 領域内に異なる媒質が存在する場合には，この媒質相互間を区切る媒質境界線の端点座標 (x_i, y_i)

③ ②の場合，媒質境界線上にある格子点について，DO 命令のスキャン・ニィング順に与えられた媒質定数 $\varepsilon_1\sim\varepsilon_8$

④ 等ポテンシャル線を画くための分割数 n

走査領域の設定 (INISET)：

領域に外接する長方形状のアレイ領域を設定し，DO 命令の走査範囲を限定する．

境界線座標リストの作成 (LIST)：

各境界線の端点の座標リストを作成する．これは走査領域内の各格子を，ポテンシャル領域内にあるもの

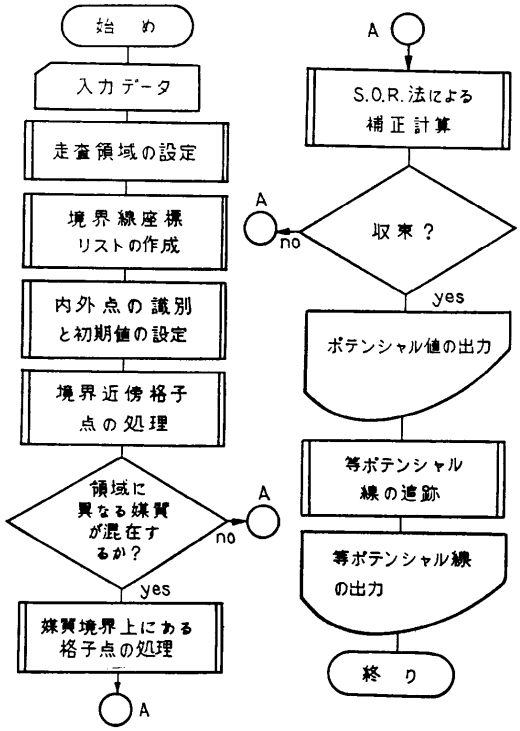


Fig. 3　流れ図

とポテンシャル領域外にあるものとに分けるためのデータとして使用される．

内外点の識別と初期値の設定および境界近傍格子点の処理 (SET 1)：

走査領域内のある格子点から，ある一定方向に半直線を引き，この半直線と境界線が交わる回数を，その格子点がポテンシャル領域内であれば，奇数回，外であれば偶数回と計数されるようなアルゴリズムを構成する．このアルゴリズムによって，各格子点の内外点識別を行なう．その結果内点である格子点には初期値を設定する．また外点には，その旨を示す特定の定数を付与し計算の対象から除外できるようにする．この内外点識別が終ると，境界近傍格子点の処理に移る．ここでは，ポテンシャル計算に必要な情報である境界線までの距離定数 d と境界上の境界条件をアレイ領域に格納し，これらを繰返し計算のたびに算出し引用するための時間の浪費をさける．境界近傍格子点には多くのパターンが考えられるが，Fig. 2 の例では，**Table 1** のようになる．

Table 1　境界近傍格子点 (Fig. 2) の情報

方　向	N	S	E	W
隣接境界の有無	2	0	1	2
距離定数	d_N		d_E	d_W
ディリクレおよびノイマン条件	$\left.\frac{\partial\phi}{\partial n}\right\|_N \sin\alpha$		ϕ_E	$\left.\frac{\partial\phi}{\partial n}\right\|_W \cos\alpha$

Table 1 の説明

方向：

N〜W は境界近傍格子点 (i, j) を中心に持つ 4 つの格子点を示す．

隣接境界の有無：

上の 4 つの格子点のうち，領域内にある格子点には指標 0，境界上にある格子点には，それがディリクレ条件が与えられている境界上であれば指標 1 を，ノイマン条件が与えられている境界上であれば指標 2 を与える．この指標はポテンシャルの繰返し計算時に，境界近傍格子点に出合うと，それがいずれのパターンに属するかを識別し，該当する計算式を選択するために使用される．

距離定数とディリクレおよびノイマン条件：

指標 1 または 2 の格子点に対してのみ，計算に必要な情報を格納する．指標 0 の格子点 (Table 1 の場合は S) には，メモリー節約のため指標が 0 でない他の境界近傍格子点の情報が格納される．

境界近傍格子点はその旨を示すある特定の値を付与する．

媒質境界上にある格子点の処理 (SET 2)：

媒質相互間の境界線上にある格子点にはその旨を示すある特定の定数を付与する．このような格子点のまわりの媒質定数は入力データとして与えられているので特別な操作は必要としない．

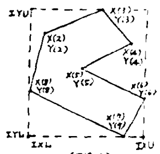
その他，S. O. R. 法による補正計算のサブルーチンでは，ポテンシャル計算時に，各格子点のポテンシャルに付与されている特定定数を調べる．これによって，領域外の格子点であることが分かれば，この格子点を計算の対象から除外する．また内点であることが分かれば，これが境界近傍にある格子点かあるいは媒質境界上にある格子点かによって，必要な情報を，あらかじめ設けられていたアレイ領域から引き出す．等ポテンシャル線の追跡のサブルーチンでは，入力データで与えられた本数だけの等ポテンシャル線を求める訳だが，これについての基本的な考え方は，他の論文

にも見られるので，ここでの説明は省略させていただく．

```
C  **  MAIN PROGRAM **
      REAL N1,NU1,K0,P0(50),N,NU,EM(10),X(50),Y(50),P(50),U(50,50),
     1XB(50),YB(50),G(50),IN
      INTEGER SS,@(150),MODE(50)
      COMMON /B4/YU(50),YL(50),XU(50),XL(50) /B5/IYU,IYL,IXU,IXL
     1/B8/N1(150),S1(150),E1(150),W1(150) /B9/NU1(150),SU1(150),EU1(150)
     2,WU1(150) /B21/C1(100),C2(100),C3(100),C4(100),C5(100),C6(100),
     3C7(100),C8(100) /B24/K1,K2,K3,K4
      PXY(X1,X2,F,F1,F2)=(X2*(F-F1)+X1*(F2-F))/(F2-F1)
      IN=0.0            IN: ポテンシャルの初期値
    1 READ(5,2) NN      NN: 境界線の端点の個数（Fig.a では NN=7）
    2 FORMAT(I3)            （ただし，一辺の境界線上で，境界ポテンシャルが折れ線近似されている
      WRITE(6,100) NN        ならば，それらの折れ点も端点と考える）
  100 FORMAT(1H1,5HNN = ,I3/)
      IF(NN)3,11,3                                              ディリクレ条件のとき 0
    3 NN=NN+1          MODE: 端点I番目と(I+1)番目の境界条件が {
      DO 5 I=2,NN                                               ノイマン条件のとき 1
      READ(5,4) MODE(I),X(I),Y(I),P(I),G(I)      X,Y：端点座標（Fig.a 参照）
    4 FORMAT(I1,2F5.1,2F6.1)                     P,G：(X,Y)点のディリクレあるいは
    5 CONTINUE                                        ノイマン条件
      WRITE(6,200) (MODE(I),X(I),Y(I),P(I),G(I),I=2,NN)
  200 FORMAT(1H ,7HMODE = ,I1,3X,4HX = F5.1,3X,4HY = F5.1,3X,4HP = F6.1,
     13X,4HG = F6.1/)
      X(NN+1)=X(2)
      Y(NN+1)=Y(2)
      P(NN+1)=P(2)
      G(NN+1)=G(2)        MM: 誘電体間を区切る境界線の端点の個数（Fig.i では MM=5）
      READ(5,2) MM
      IF(MM) 333,336,333
  333 WRITE(6,300) MM
  300 FORMAT(1H ,5HMM = I3/)
      DO 55 I=1,MM
      READ(5,301) XB(I),YB(I)     XB,YB：誘電境界線の端点座標（Fig.i 参照）
  301 FORMAT(2F5.1)
      WRITE(6,302) XB(I),YB(I)
  302 FORMAT(1H ,5HXB = F5.1,3X,5HYB = F5.1/)
   55 CONTINUE
      READ(5,2) ME                ME：誘電体の個数（Fig.i では ME=3）
      WRITE(6,1000) ME
 1000 FORMAT(1H ,5HME = I2/)
      DO 1003 K=1,ME
      READ(5,1001) EM(K)          EM：各誘電体の誘電定数（Fig.i では EM(1)=εI,
      WRITE(6,1002) K,EM(K)                              EM(2)=εII, EM(3)=εIII）
 1001 FORMAT(F7.3)
 1002 FORMAT(1H ,4HEM( I2,5H ) = F7.3)
 1003 CONTINUE
      READ(5,2) MN           MN: 誘電境界線上にある格子点の数
      WRITE(6,1004) MN          本文(2),(3)式の ε1～ε8 の内容を，配列EMの添字番号
 1004 FORMAT(1H ,5HMN = I3/)    で入力する．例えば，(11133222)これらをS.O.R.計算の
      DO 1008 I=1,MN            ある番号の順にMN組入力する．
      READ(5,1005) KE1,KE2,KE3,KE4,KE5,KE6,KE7,KE8
 1005 FORMAT(8I2)
      DO 1006 K=1,ME
      IF(KE1.EQ.K) C1(I)=EM(K)    C1～C8: 本文(2),(3)式の ε1～ε8
      IF(KE2.EQ.K) C2(I)=EM(K)
      IF(KE3.EQ.K) C3(I)=EM(K)
      IF(KE4.EQ.K) C4(I)=EM(K)
      IF(KE5.EQ.K) C5(I)=EM(K)
      IF(KE6.EQ.K) C6(I)=EM(K)
      IF(KE7.EQ.K) C7(I)=EM(K)
 1006 IF(KE8.EQ.K) C8(I)=EM(K)
      WRITE(6,1007) KE1,KE2,KE3,KE4,KE5,KE6,KE7,KE8
 1007 FORMAT(1H ,5HK1 = I2,2X5HK2 = I2,2X5HK3 = I2,2X5HK4 = I2,2X5HK5 =
     1I2,2X5HK6 = I2,2X5HK7 = I2,2X5HK8 = I2/)
 1008 CONTINUE
  336 A=5000.0     各サブルーチンで使用されている特定定数
      B=-1000.0    これらの絶対値は，Pの最大値（例えば規格値 100）にくらべてかなり
      C=-1001.0    大きく設定されている．
      D=1000.0
      F=10000.0
      CALL INISET(X,Y,U,NN,C)
      CALL LIST(X,Y,NN)
      CALL SET1(X,Y,P,U,NN,SS,A,@,MODE,G,IN)
      IF(MM) 66,67,66
   66 CALL SET2(U,C,MM,F,XB,YB)
   67 CALL DOMP(X,Y,U,NN,SS,A,B,C,D,F) → ポテンシャルの初期値を出力（省略）
      M=0
      K0=1.45             M: S.O.R. 計算の繰返回数
      R1=0.0              K0: 加速係数
    6 N0=0                R：各格子点上のポテンシャルの残差の総和
      R=0.0                  (SUBROUTINE RELAX 参照)
      K=0                 N0: 収束していない格子点の総和
      L=0                 K：境界近傍格子点の個数
      K1=0                L：誘電境界線上にある格子点の個数
      K2=0                K1～K4：(SUBROUTINE SET1 参照)
      K3=0
      K4=0
      DO 7 J=IYL,IYU   } (SUBROUTINE INISET 参照)
      DO 7 I=IXL,IXU
      IF(U(I,J).EQ.C) GO TO 7    C：外点および境界線上にある格子点を示す特定定数
      CALL RELAX(U,R,NU,K0,K,I,J,A,B,D,F,L,@)
    7 CONTINUE
      M=M+1
      WRITE(6,8) M,R,N0
    8 FORMAT(1H ,1X,4HM = ,I4,2X,4HR = ,F8.3,2X,5HN0 = ,I5/)
      IF(N0.EQ.0.OR.ABS((R1-R)/R).LT.0.01) GO TO 10
    9 R1=R                収束判定
      GO TO 6
   10 CALL DOMP(X,Y,U,NN,SS,A,B,C,D,F) → ポテンシャルの出力（省略）
   14 READ(5,2) NM
      WRITE(6,15) NM          以下，等ポテンシャル線の追跡（省略）
   15 FORMAT(1H ,5HNM = ,I3)
      READ(5,16) PP,DP
         :
   11 STOP
      END
```

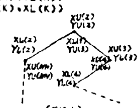
Fig. 4-1

```
              <走査領域の設定>
      SUBROUTINE INISET(X,Y,U,NN,C)
      REAL X(50),Y(50),U(50,50)      X,Y：端点座標（入力データとして
      COMMON /B5/IYU,IYL,IXU,IXL          与えられている） Fig.a 参照
      YU=0.0                         U：各格子点上のポテンシャルφ
      XU=0.0
      YL=1000.0
      XL=1000.0     NN: 境界の端点の個数（入力データとして与えられている）
      DO 1 K=2,NN
      IF(XU.LT.X(K)) XU=X(K)
      IF(XL.GT.X(K)) XL=X(K)
      IF(YU.LT.Y(K)) YU=Y(K)
      IF(YL.GT.Y(K)) YL=Y(K)
    1 CONTINUE
      IYU=IFIX(YU)
      IYL=IFIX(YL)+1   } :(Fig.a 参照)
      IXU=IFIX(XU)
      IXL=IFIX(XL)+1
      DO 2 J=IYL,IYU
      DO 2 I=IXL,IXU
    2 U(I,J)=C      C：領域の外にある格子点を
      RETURN           示す特定定数．
      END              走査領域全体に設定．
```



(Fig. a)

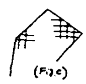
```
              <境界線座標リストの作成>
      SUBROUTINE LIST(X,Y,NN)
      REAL X(50),Y(50)
      COMMON /B4/YU(50),YL(50),XU(50),XL(50)
      DO 1 K=2,NN                            XU,XL,YU,YL (Fig.b 参照)
      CALL XYUL(Y(K),Y(K+1),YU(K),YL(K))
    1 CALL XYUL(X(K),X(K+1),XU(K),XL(K))
      XU(1)=XU(NN)
      XL(1)=XL(NN)
      YU(1)=YU(NN)
      YL(1)=YL(NN)
      XU(NN+1)=XU(2)
      XL(NN+1)=XL(2)
      YU(NN+1)=YU(2)
      YL(NN+1)=YL(2)
      RETURN
      END
```



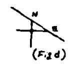
(Fig. b)

```
      SUBROUTINE XYUL(K,K1,U,L)
      REAL K,K1,L
      IF(K.LT.K1) GO TO 1
      U=K
      L=K1
      RETURN
    1 U=K1
      L=K
      RETURN
      END
```

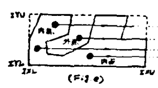
```
          <内外点の判別と初期値の設定および境界近傍格子点の処理>
      SUBROUTINE SET1(X,Y,P,U,NN,SS,A,@,MODE,G,IN)
      REAL LX,LY,N1,NU1,N,NU,IN,NG,X(50),Y(50),P(50),U(50,50),G(50)
      INTEGER RIGHT,SS,@(150),MODE(50),EM,WM,SM
      COMMON /B4/YU(50),YL(50),XU(50),XL(50) /B5/IYU,IYL,IXU,IXL /B8/
     1N1(150),S1(150),E1(150),W1(150) /B9/NU1(150),SU1(150),EU1(150),
     2WU1(150)
      SS=0      SS: 境界に隣接した格子点全体の数．
      K1=1          Fig.c 参照
      K2=1   } ：SSに含まれる格子点の中で境界線上にある
      K3=1        E,W,N,S の個数 (Fig.d 参照)
      K4=1
      DO 19 J=IYL,IYU
      DO 19 I=IXL,IXU
      RIGHT=0        RIGHT：ある格子点から X軸(I)に平行な
      LX=1000.0        半直線を引き，これが境界線と交差する回数．
      LY=1000.0        (Fig.e 参照)
      UX=-1.0
      UY=-1.0
      FI=FLOAT(I)
      FJ=FLOAT(J)
      DO 16 K= 2,NN
      IF(FJ.LE.YU(K).AND.FJ.GE.YL(K)) GO TO 1
      GO TO 9
    1 IF(FJ.EQ.YU(K).AND.FJ.EQ.YL(K)) GO TO 2
      X0=(X(K+1)-X(K))*(FJ-Y(K))/(Y(K+1)-Y(K))+X(K)     X0 (Fig.f 参照)
      GO TO 3
    2 X0=XU(K)
    3 IF(X0.EQ.FI.OR.(FJ.EQ.YL(K).AND.FJ.EQ.YU(K).AND.FI.GE.XL(K).AND.
     1FI.LE.XU(K))) GO TO 19
      IF(X0.GT.FI) GO TO 4
      GO TO 6                  ある格子点が内点であれば RIGHT は奇数，
    4 RIGHT=RIGHT+1            外点であれば RIGHT は偶数となるような
                               アルゴリズム．
      IF((FJ.EQ.YU(K).AND.FJ.EQ.YL(K+1).OR.FJ.EQ.YL(K).AND.FJ.EQ.YU(K+
     21)).AND.YU(K+1).NE.YL(K+1).AND.YU(K).NE.YL(K)) RIGHT=RIGHT-1
      IF(FJ.EQ.YU(K).AND.FJ.EQ.YL(K).AND.(FJ.EQ.YU(K-1).AND.FJ.EQ.YU(K
     3+1).OR.FJ.EQ.YL(K-1).AND.FJ.EQ.YL(K+1)))RIGHT=RIGHT+1
      IF(FJ.EQ.YU(K).AND.FJ.EQ.YL(K)) GO TO 16
      IF(LX.GT.X0) GO TO 5
      GO TO 6
    5 LX=X0
      E=LX-FI     E:(Fig.f 参照)
      CALL EW(E,MODE(K),EU,P(K+1),P(K),FJ,Y(K),Y(K+1),EM,X(K+1),X(K),EG,
     1G(K+1),G(K))
    6 IF(X0.LT.FI) GO TO 7
      GO TO 9
    7 IF(FJ.EQ.YU(K).AND.FJ.EQ.YL(K)) GO TO 16
      IF(UX.LT.X0) GO TO 8
      GO TO 9
    8 UX=X0
      W=FI-UX
      CALL EW(W,MODE(K),WU,P(K+1),P(K),FJ,Y(K),Y(K+1),WM,X(K+1),X(K),WG,
     1G(K+1),G(K))
    9 IF(FI.EQ.XU(K).AND.FI.EQ.XL(K)) GO TO 16
      IF(FI.LE.XU(K).AND.FI.GE.XL(K)) GO TO 10
      GO TO 16
   10 Y0=(Y(K+1)-Y(K))*(FI-X(K))/(X(K+1)-X(K))+Y(K)
      IF(Y0.GT.FJ) GO TO 11
      GO TO 13
   11 IF(LY.GT.Y0) GO TO 12
      GO TO 13
   12 LY=Y0
      N=LY-FJ
```



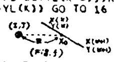
(Fig. c)



(Fig. d)



(Fig. e)

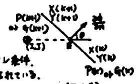


(Fig. f)

Fig. 4-2

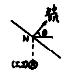
```
      CALL NS(N,MODE(K),NU,P(K+1),P(K),FI,Y(K),Y(K+1),NM,X(K+1),X(K),NG,
     1G(K+1),G(K))
   13 IF(YO.LT.FJ) GO TO 14
      GO TO 16
   14 IF(UY.LT.YO) GO TO 15
      GO TO 16
   15 UY=YO
      S=FJ-UY
      CALL NS(S,MODE(K),SU,P(K+1),P(K),FI,Y(K),Y(K+1),SM,X(K+1),X(K),SG,
     1G(K+1),G(K))
   16 CONTINUE
      IF(RIGHT.EQ.RIGHT/2*2) GO TO 19 ―→ 外点
      IF(W.GT.1.0.AND.E.GT.1.0.AND.N.GT.1.0.AND.S.GT.1.0) GO TO 17
      GO TO 18 ―→ 境界近傍格子点                  →内点であるが境界に隣接していない格子点
   17 U(I,J)=IN   IN：初期値の設定
      GO TO 19
   18 SS=SS+1
      Q(SS)=0     Q：境界近傍格子点のパターン 例えば Q(SS)=2012
      IF(N.GT.1.0) GO TO 100 (表1.参照)
      CALL ARRY(K1,N1(K1),N,NM,NU1(K1),NG,Q(SS),2000,NU,1000)
  100 IF(S.GT.1.0) GO TO 200
      CALL ARRY(K2,S1(K2),S,SM,SU1(K2),SG,Q(SS),200,SU,100)
  200 IF(E.GT.1.0) GO TO 300
      CALL ARRY(K3,E1(K3),E,EM,EU1(K3),EG,Q(SS),20,EU,10)
  300 IF(W.GT.1.0) GO TO 400
      CALL ARRY(K4,W1(K4),W,WM,WU1(K4),WG,Q(SS),2,WU,1)
  400 U(I,J)=A+IN     A：境界近傍格子点には初期値以外に、その点を示すAを附与する。
   19 CONTINUE           S.O.R.法でポテンシャル計算を行なうとき、Aが附与されている
      RETURN             格子点があると、Q(SS)を調べ、必要なデータをとりだし、該当する
      END                計算式を選択する。

      SUBROUTINE EW(A,M,AU,P2,P1,F,Y1,Y2,N,X2,X1,AG,G2,G1)
      IF(A.LE.1.0) GO TO 66
      RETURN          M=MODE(K)：(K番目の境界線上の境界条件が、{ディリクレのとき0
   66 IF(M.EQ.0) GO TO 67                                     {ノイマンのとき1
      GO TO 68         入力データとして与えられている。
   67 AU=(P2-P1)*(F-Y1)/(Y2-Y1)+P1    P1=P(K)：(端点(K番目)のディリクレ条件。
      N=0                                        入力データとして与えられている。
      RETURN          AU=例えば、EU：(境界線上E点のポテンシャル φE を比例配分で求める。
   68 N=1
      T=(X2-X1)/(Y1-Y2)    T：tanθ
      CS=SQRT(1.0/(T**2+1.0))    CS：cosθ
      AG=(G2-G1)*(F-Y1)/(Y2-Y1)+G1
      AG=AG*CS                  G1=G(K)：(端点(K番目)のノイマン条件。
      RETURN                              入力データとして与えられている。
      END    ―→ ∂φ/∂n|E cosθ or ∂φ/∂n|W cosθ
```



(Fig.3)

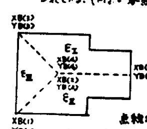
```
      SUBROUTINE NS(B,M,BU,P2,P1,F,Y1,Y2,N,X2,X1,BG,G2,G1)
      IF(B.LE.1.0) GO TO 133
      RETURN
  133 IF(M.EQ.0) GO TO 134
      GO TO 135
  134 BU=(P2-P1)*(F-X1)/(X2-X1)+P1
      N=0         BU=例えば、NU：φN
      RETURN
  135 N=1
      IF(Y1.EQ.Y2) GO TO 136 ―→ θ=π/2
      T=(X2-X1)/(Y1-Y2)
      SI=SQRT(T**2/(T**2+1.0))    SI：sinθ
      GO TO 137
  136 SI=1.0
  137 GB=(G2-G1)*(F-X1)/(X2-X1)+G1
      BG=BT*SI
      RETURN  ―→ ∂φ/∂n|N sinθ or ∂φ/∂n|S sinθ
      END
```



(Fig.4)

```
      SUBROUTINE ARRY(K,A1,A,M,AU1,AG,L,I2,AU,I1)
      K=K+1
      A1=A          A1=例えば N1(K1)：dN
      IF(M.EQ.0) GO TO 101
      AU1=AG  ―→ AU1=例えば NU1(K1)：∂φ/∂n|N sinθ     }：(表1.参照)
      L=L+I2
      RETURN
  101 AU1=AU  ―→ AU1=例えば NU1(K1)：φN
      L=L+I1
      RETURN
      END

              〈誘電境界上にある格子点処理〉
      SUBROUTINE SET2(U,C,MM,F,XB,YB)
      REAL U(50,50),XB(50),YB(50)     XB,YB：誘電部を区切る境界線の端点座標。入力データとして与え
      COMMON /B5/IYU,IYL,IXU,IXL              られている。(Fig.6 参照)
      DO 8  J=IYL,IYU
      DO 8  I=IXL,IXU
      FI=FLOAT(I)
      FJ=FLOAT(J)
      IF(U(I,J).EQ.C) GO TO 8
      IM=MM-1
      DO 7 K= 1,IM
      IF (YB(K).GT.YB(K+1)) GO TO 1
      YU=YB(K+1)
      YL=YB(K)
      GO TO 2
    1 YU=YB(K)
      YL=YB(K+1)
    2 IF(XB(K).GT.XB(K+1)) GO TO 3
      XU=XB(K+1)
      XL=XB(K)
      GO TO 4
    3 XU=XB(K)
      XL=XB(K+1)
    4 IF(FJ.LE.YU.AND.FJ.GE.YL) GO TO 5
      GO TO 7                                                    →誘電境界上にある格子点
    5 IF(FJ.EQ.YU.AND.FJ.EQ.YL.AND.FI.GE.XL.AND.FI.LE.XU) GO TO 6
      IF(FJ.EQ.YU.AND.FJ.EQ.YL.AND.(FI.LT.XL.OR.FI.GT.XU)) GO TO 7
      XO=(XB(K+1)-XB(K))*(FJ-YB(K))/(YB(K+1)-YB(K))+XB(K)
      IF(XO.EQ.FI) GO TO 6 ―→ 誘電境界上にある格子点
      GO TO 7
    6 U(I,J)=U(I,J)+F    F：誘電境界上にある格子点には、その点を示す特定定数Fを
      GO TO 8               附与する。(一方、この格子点上のポテンシャル計算に必要な
    7 CONTINUE              誘電係数 ε1～ε8 は、S.O.R.法計算のスキャン・ルーチン順に
    8 CONTINUE              入力されている。したがって、Fが附加されている格子点があると、
      RETURN                その都度この誘電係数をとり出す。)
      END
```



(Fig.6)

Fig. 4-3

```
              〈S.O.R.法による補正計算〉
      SUBROUTINE RELAX(U,R,NO,KO,K,I,J,A,B,D,F,L,Q)
      INTEGER Q(150)
      REAL N,NU,N1,NU1,KO,U(50,50)
      COMMON /B8/N1(150),S1(150),E1(150),W1(150) /B9/NU1(150),SU1(150),
     1EU1(150),WU1(150) /B21/C1(100),C2(100),C3(100),C4(100),C5(100),
     2C6(100),C7(100),C8(100)
      IF(A-D.LT.U(I,J).AND.U(I,J).LT.A+D) GO TO 1 ―→ 境界近傍格子点
      GO TO 2
    1 K=K+1
      U(I,J)=U(I,J)-A
      CALL KINBOO(N,S,E,W,NU,SU,EU,WU,KN,KS,KE,KW,B,Q,K) ―→ 本文表1の内容と、
                                                        patternQをもとに、索引する。
      CALL NUIJ(NU,I,J+1,U,A,B,D,F)
      CALL NUIJ(SU,I,J-1,U,A,B,D,F)  } 本文表1の指標0に相当する
      CALL NUIJ(EU,I+1,J,U,A,B,D,F)  } ポテンシャルの索引。
      CALL NUIJ(WU,I-1,J,U,A,B,D,F)
      IF(KN.NE.2.AND.KS.NE.2.AND.KE.NE.2.AND.KW.NE.2) ―→ 指標の内容を調べる。
     1H=((S+N)*EU/E+(N+S)*WU/W+(E+W)*NU/N+(E+W)*SU/S)
     2/((S+N)/E+(N+S)/W+(E+W)/N+(E+W)/S)-U(I,J)
              | |  H：本文、例えば(3)式の φij と繰返し回数(M-1)回目
 (その他、13個の式 | |     のポテンシャルの差 = φij - U(M-1)ij.
   省略)         | |  指標4桁の中に2を何個含むかによって(2を全く含まない指標全体
              | |  をまとめて1通りと考え、又 Q=2222 は考えないものとすると) 2^4-1 通り
                   の組合せ、すなわち 2^4-1 通りの計算式が必要となる。
  指標0,1は計算手続上同一に扱われるので、指標2を含む組合せを考慮すればよい。
  ここでは、2組の式のみを示しているが、他の指標による φij は(3)式から容易に推察されるので省略する。
              | |
      IF(KN.EQ.2.AND.KS.EQ.2.AND.KE.EQ.2.AND.KW.NE.2)
     1H=((E+W)*NU+(W+E)*SU+(N+S)*EU+(N+S)*WU/W)/((N+S)/W)-U(I,J)
      T=1.0
      GO TO 7
    2 IF(F-D.LT.U(I,J).AND.U(I,J).LT.F+D) GO TO 3 ―→ 誘電境界線上にある格子点、
      GO TO 4
    3 L=L+1
      U(I,J)=U(I,J)-F
      NU=B
      SU=B
      EU=B
      WU=B
      CALL NUIJ(NU,I,J+1,U,A,B,D,F)
      CALL NUIJ(SU,I,J-1,U,A,B,D,F)
      CALL NUIJ(EU,I+1,J,U,A,B,D,F)
      CALL NUIJ(WU,I-1,J,U,A,B,D,F)
      G1=C1(L)
      G2=C2(L)
      G3=C3(L)
      G4=C4(L)
      G5=C5(L)
      G6=C6(L)
      G7=C7(L)
      G8=C8(L)
      H=((G8+G1)*EU+(G4+G5)*WU+(G2+G3)*NU+(G7+G6)*SU)/((G8+G1)
     1+(G4+G5)+(G2+G3)+(G7+G6))-U(I,J)
      T=2.0
      GO TO 7
    4 IF(A+F-D.LT.U(I,J)) GO TO 5 ―→ 境界近傍格子点にあり、かつ
      GO TO 6                          誘電境界線上にある格子点、
    5 K=K+1
      L=L+1
      U(I,J)=U(I,J)-A-F
      CALL KINBOO(N,S,E,W,NU,SU,EU,WU,KN,KS,KE,KW,B,Q,K)
      CALL NUIJ(NU,I,J+1,U,A,B,D,F)
      CALL NUIJ(SU,I,J-1,U,A,B,D,F)
      CALL NUIJ(EU,I+1,J,U,A,B,D,F)
      CALL NUIJ(WU,I-1,J,U,A,B,D,F)
      G1=C1(L)
      G2=C2(L)
      G3=C3(L)
      G4=C4(L)
      G5=C5(L)
      G6=C6(L)
      G7=C7(L)
      G8=C8(L)
      IF(KN.NE.2.AND.KS.NE.2.AND.KE.NE.2.AND.KW.NE.2) H=((S*G8+N*G1)*EU/
     1E+(N*G4+S*G5)*WU/W+(E*G2+W*G3)*NU/N+(E*G7+W*G6)*SU/S)/((S*G8+N*G1)
     2/E+(N*G4+S*G5)/W+(E*G2+W*G3)/N+(E*G7+W*G6)/S)-U(I,J)
              | |
              | |(その他、13個の式省略)
              | |
      IF(KN.EQ.2.AND.KS.EQ.2.AND.KE.EQ.2.AND.KW.NE.2)
     1H=((G2*E+G3*W)*NU+(G6*W+G7*E)*SU+
     1(G1*N+G8*S)*EU+(G4*N+G5*S)*WU/W)/((G4*N+G5*S)/W)-U(I,J)
      T=3.0
      GO TO 7
    6 NU=B
      SU=B
      EU=B
      WU=B
      CALL NUIJ(NU,I,J+1,U,A,B,D,F)
      CALL NUIJ(SU,I,J-1,U,A,B,D,F)
      CALL NUIJ(EU,I+1,J,U,A,B,D,F)
      CALL NUIJ(WU,I-1,J,U,A,B,D,F)
      H=(EU+WU+NU+SU)/4.0-U(I,J) ―→ 特定定数の附与されていない格子点における計算
      T=4.0
    7 U(I,J)=U(I,J)+H*KO ―→ S.O.R.計算
      R=R+ABS(H)                R=Σij(φij-U(M-1)ij)
      IF(U(I,J).NE.0.0) PE=H*KO/U(I,J)
      IF(U(I,J).NE.0.0.AND.ABS(PE).GT.0.00001) NO=NO+1 } NO：収束していない
      IF(U(I,J).EQ.0.0.AND.ABS(H*KO).GT.0.001) NO=NO+1 }     格子点の個数
      IF(T.EQ.1.0) U(I,J)=U(I,J)+A                  収束判定定数
      IF(T.EQ.2.0) U(I,J)=U(I,J)+F
      IF(T.EQ.3.0) U(I,J)=U(I,J)+A+F
      RETURN
      END
```

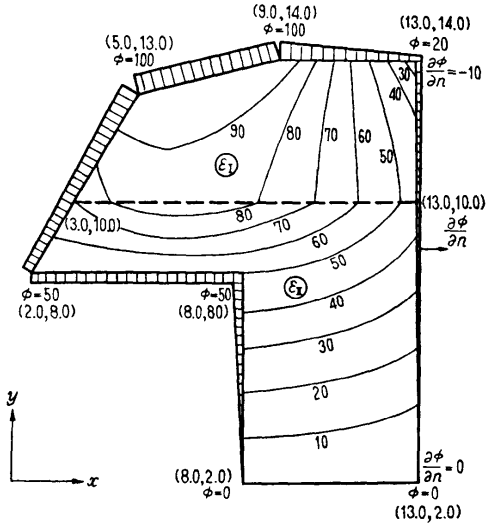
Fig. 4-4

```
              〈本文表1の内容の索引〉
      SUBROUTINE KINHOU(N,S,E,W,NU,SU,EU,WU,KN,KS,KE,KW,B,Q,K)
      REAL N,NU,N1,NU1
      INTEGER Q(150),QK
      COMMON /B6/N1(150),S1(150),E1(150),W1(150) /B9/NU1(150),SU1(150),
     1EU1(150),WU1(150)/B24/K1,K2,K3,K4
      QK=Q(K)        Q：4桁の指標
      KN=0  ┐
      KS=0  │ 指標0,1を持つN,~,W点の指標を改めて0と置く.(SUBROUTINE RELAX参照)
      KE=0  │
      KW=0  ┘
      IF(QK.GE.1000) GO TO 301 ——→ 本文表1の指標1,2に相当する内容の索引.
      N=1.0 ┐ 指標0に相当する内容.  N=d_N=1.0
      NU=B  ┘                 B: N点が指標0を持つ格子点であることを示す
  501 IF(QK.GE.100) GO TO 302     特定定数. NUすなわちU(I,J+1)は
      S=1.0                        SUBROUTINE NUIJで索引する.
      SU=B
  502 IF(QK.GE.10) GO TO 303
      E=1.0
      EU=B
  503 IF(QK.GE.1) GO TO 304
      W=1.0
      WU=B
      GO TO 305
  301 K1=K1+1       ┐ 表1の指標1,2に相当する内容.
      N=N1(K1)      │ N=d_N=N1(K1),  NU=φ_N or ∂φ/∂n|_N sinα
      NU=NU1(K1)    ┘                  =NU1(K1)
      QK=QK-1000
      IF(QK.GE.1000) GO TO 311
      GO TO 501
  311 KN=2      ——→ N点がノイマン境界であることを示す.
      QK=QK-1000
      GO TO 501
  302 K2=K2+1
      S=S1(K2)
      SU=SU1(K2)
      QK=QK-100
      IF(QK.GE.100) GO TO 312
      GO TO 502
  312 KS=2
      QK=QK-100
      GO TO 502
  303 K3=K3+1
      E=E1(K3)
      EU=EU1(K3)
      QK=QK-10
      IF(QK.GE.10) GO TO 313
      GO TO 503
  313 KE=2
      QK=QK-10
      GO TO 503
  304 K4=K4+1
      W=W1(K4)
      WU=WU1(K4)
      QK=QK-1
      IF(QK.GE.1) GO TO 314
      GO TO 305
  314 KW=2
  305 RETURN ——→ 4桁の指標は全て0,2の組合せに改められる.
      END

          〈本文表1の指標0に相当するポテンシャルの索引〉
      SUBROUTINE NUIJ(N,I,J,U,A,B,D,F)
      REAL N,U(50,50)
      IF(N.EQ.B) GO TO 1
      GO TO 3 ——→ 境界条件として与えられたディリクレ,ノイマン条件.(SUBROUTINE KIUBOOですでに索引ずみ)
    1 IF(A-D.LT.U(I,J).AND.U(I,J).LT.A+D.OR.F-D.LT.U(I,J).AND.U(I,J).LT.
     1F+D.OR.F+A-D.LT.U(I,J)) GO TO 2 ——→ 特定定数が付与されている格子点.
      N=U(I,J) ——→ 特定定数が付与されていない格子点.
      GO TO 3
    2 IF(A-D.LT.U(I,J).AND.U(I,J).LT.A+D) N=U(I,J)-A ——→ 境界近傍格子点.
      IF(F-D.LT.U(I,J).AND.U(I,J).LT.F+D) N=U(I,J)-F ——→ 媒質境界線上にある格子点.
      IF(F+A-D.LT.U(I,J)) N=U(I,J)-A-F
    3 RETURN       ——→ 境界近傍格子点であり,かつ媒質境界線上にある格子点.
      END
```

Fig. 4-5

Fig. 5に簡単な境界値問題に適用した例を，**Table 2** にその入力データを示す．



媒質定数：$\varepsilon_{\mathrm{I}}=100.0$，$\varepsilon_{\mathrm{II}}=1.0$　　格子点数：182個
初期値：$IN=0.0$　　収束判定々数：$\varepsilon=10^{-5}$
加速係数：$K_0=1.45$　　繰返回数：$M=50$回

Fig. 5　適用例

Table 2　入力データ

7 ← NN

MODO	X	Y	P	G
0	5.0	13.0	100.0	*
0	9.0	14.0	100.0	*
1	13.0	14.0	20.0	−10.0
0	13.0	2.0	0.0	0.0
0	8.0	2.0	0.0	*
0	8.0	8.0	50.0	*
0	2.0	8.0	50.0	*

2 ← MM

XB	YB
3.0	10.0
13.0	10.0

*はプログラム中で無視されるので，実数型の数であれば何にでもよい．
（Pの中に*が現われた場合も同様）

2 ← ME

100.000 ┐
1.000 ┘ ←EM

9 ← MN

K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
1	1	1	1	2	2	2	2
⋮							
1	1	1	1	2	2	2	2

以下，等ポテンシャル線のデータ（省略）

（昭和49年12月3日受付）
（昭和50年3月3日再受付）