

パーソナルコンピュータによる岩石薄片の幾何学的データの処理

林 武広・鈴木 盛久・吉村 典久・吉野 言生*

(1990年9月11日受理)

I. まえがき

地質学諸分野においては、野外および室内実験で得られた各種のデータ処理が短時間にしかも正確に行われることが必要不可欠である。そのために、筆者らは地質学のみならず地学教育の分野におけるパーソナルコンピュータ活用に関する一連の研究を進めている。例えば、主として野外で得られた幾何学的データの統計処理(林・吉村・吉野, 1987), あるいは花崗岩類のモード解析(林・鈴木, 1990)などを迅速かつ正確に行う方法を開発, 提案してきた。

研究を進める上で、特に、様々な地質体から得られた各種の幾何学的データを統計処理することが多い。それらは例えば、ある地域における地形発達と岩石の節理系の発達との関連を解析するため、節理面の方向の特徴を見いだそうとする場合(吉村・林, 1983, 吉村・林, 1989), ある地質体の構造発達史を解析するため、その地質体に伴われている *foliation* や *lineation* などの方向や配列の特徴を見いだそうとする場合、岩石が形成された場の条件を解析するために、その岩石に含まれる特定の鉱物の定向性を見いだそうとする場合、また、ある地層の堆積環境を解析するため、その地層に含まれる礫の並び方の規則性を見いだそうとする場合などがある。さらに、このような処理は上記のような例に限定されることなく、多種多様な研究において行われ多くの論文に、それらの結果がコンター図で示されている。

ここで取り上げる幾何学的データとは、一般に3次元空間における面的要素、あるいは線の要素

をあらかじめ定めた方向を基準として、その方向からの水平方向への方位角および鉛直方向への落ち角または傾斜角で与えられるものとする。野外または室内実験で測定されたこのようなデータの統計処理法については、TURNER & Weiss (1963) によってまとめられている。

具体的には、まず、データを1つ1つシュミットネットに投影し(ポイント図)、続いてその図からデータの集中領域を示すコンター図を作成することで完成する。通常、これらの一連の作業は、煩雑な手作業が中心であるため多くの時間と労力を要する。

一方、ユニバーサルステージによる岩石薄片観察などの室内実験においても同様の幾何学的データを処理する機会が多くある。ここでは、上記の研究の一環として、そのようなデータをパーソナルコンピュータによって迅速かつ正確に処理する方法を開発したので提案する。

なお、使用したパーソナルコンピュータは NEC PC-9801 シリーズ、プログラム言語は N88BASIC (MS-DOS 版) である。

II. 岩石薄片における幾何学的データ

ここで述べる、岩石薄片の幾何学的データとはユニバーサルステージを用いて測定される、岩石・鉱物が持つ諸々の面、あるいは軸に関するデータである。

従来より、ユニバーサルステージは岩石薄片下で鉱物の光学的弾性軸と結晶面・結晶軸との関係や光軸角など光学的諸性質を求め、それらを手がかりにその鉱物の組成を知るためにも使用されてきた。このような目的の使用法は、EPMA などの各種の分析機器の発達により容易に鉱物の組成

* 鈴峯女子短期大学

を知ることができるようになったため漸次減少してきてきた。そのため、ここではこのようなデータの処理に関することには触れない。

一方、岩石学、構造地質学などの研究分野においては、岩石・鉱物の持つ光学的方位や微細構造を多量に測定し、それらが持つ配列の規則性・定向性を統計的に求めることがよくある。例えば変成岩類の研究の場合では、構成鉱物の定向性がそれらが形成された場のテクトニクスを検討する上で重要な示唆を与えるものである。そのため、野外で測定できる片理面の傾向のような中構造的なもののみならず、特定の鉱物が示す卓越した方向（preferred orientation）などの微細構造的なものを求める必要がある。そのため方位を定めて作成された岩石薄片下で特定した鉱物すべてについて、その鉱物の結晶軸、あるいは結晶面の方向を測定し、統計処理しなければならない。それが黒雲母の場合であれば、(001)面の方向が、斜長石であれば(010)面の方向が測定されることがある。また、このような鉱物の結晶面、結晶軸に関するもののみでなく、光学的弾性軸（X, Y, Z 軸）もしばしば測定される。

さらに、変成岩類の研究に限らず、火成岩類においても、それらの形成史を検討する上の1つのデータとして、鉱物に内包される微細な割れ目、包有物の方向なども測定される（林、準備中）。

現在までのところ、このようなデータを簡単に測定できる機器は存在しないため、当面、ユニバーサルステージを用いた岩石薄片の検鏡によらなければならない。

実際のデータ測定手順は、偏光顕微鏡へのユニバーサルステージの装着・センタリング、測定、シュミットネットを用いた測定値の投影、さらにコンター図の作成で完了する。これら一連の作業は、どの手順も煩雑な手作業が伴うため、野外で得られたデータの処理の場合以上の労力と時間を要する。

ユニバーサルステージでの測定によって得られたデータの型は、基本的には野外の場合と同様であり、測定すべき岩石薄片上の定めた方向からの方位角、落し角（または傾斜角）で与えられる。

ユニバーサルステージを用いて得られた岩石薄片の幾何学的データのコンター図は、測定値そのものを投影した点から、直接、コンター図を作成

することはできない。それは、主としてユニバーサルステージの機能に直接的に起因する。

ユニバーサルステージは岩石薄片を任意の方位に回転させて観察ができる器具であるが、360°回転できる軸と-45°～+45°程度の角度でしか回転できない軸があるため、1方向の薄片のみでは測定不可能なものが存在しうることになる。そのため、上記のようなデータを測定しようとする場合、一般に一試料ごとに、互いに直角（またはそれに近い角度）な面をなす3枚の岩石薄片を作成し、それぞれについて、目的のものを測定する必要がある。それぞれの測定結果は、あらかじめ定めた、ある1つの面（例えば、水平面）にまとめて投影し、最終的には1つのコンター図を作成しなければならない。つまり、先に述べた野外において得られたデータの場合とは異なり、“測定された値を回転させ、他のある1つの面上に投影する”という別の手順を加える必要がある。

ユニバーサルステージを用いた岩石薄片の測定では、その岩石薄片上のある基準となる方向（通常、岩石薄片の長辺、または短辺に平行な方向）をもとにして得られる。測定すべき面的要素はその極で表すことができるため、面的要素、線の要素双方とも最終的には1つの点として投影できる。それらの投影点1つ1つについて“まとめて投影すべき面”での投影点に変換すべくシュミットネット上で回転移動させ、それらの点に関するコンター図を描くことでデータ処理は完成する。

上記の回転移動は、ユニバーサルステージから得られたデータの処理に特有なプロセスである。

具体的な回転の操作として、まず、測定する岩石薄片の面を水平面とし、両極を結ぶ経線を基準方向とするシュミットネット上に、測定値に応じた点を投影する。一般に、この基準方向を回転軸とするので、投影点の1つ1つについてシュミットネットの小円に沿って必要な角度分ほど経線を数え、点を移動させる（以下、第一回転とする）。さらにその点を、ネット中心点廻りに必要な角度分だけ回転させる（以下、第二回転とする）。“まとめて投影すべき面”内に岩石薄片の基準方向が含まれていれば、第一回転、第二回転と順に行うことで回転の操作は完了するが、そうでない場合は、第一回転を2回繰り返すこととなる。

このような操作は、手作業で行うとかなり煩雑

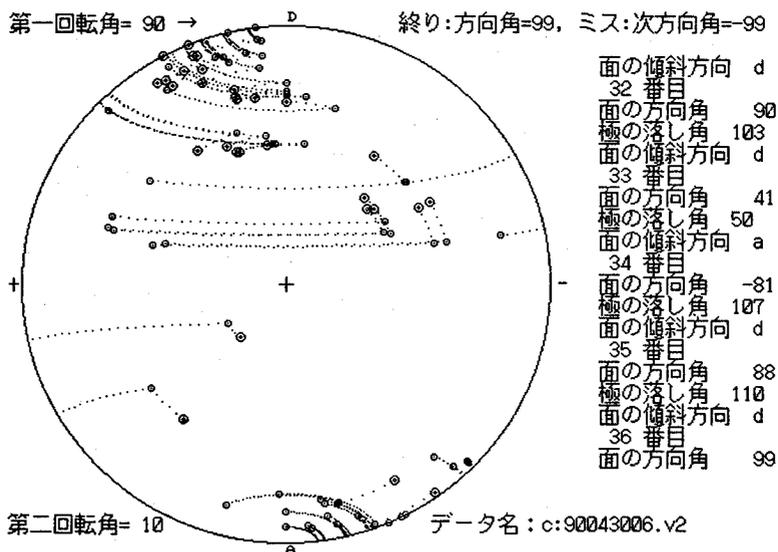


図1 測定データを回転処理した例

花崗閃緑岩中の石英にみられる流体包有物が形成する面, 右側の文字・数値の列はデータ入力

であり多くの時間が必要である。特に, 小円に沿う回転ではシュミットネットの両極に近い部分ほど, 小円の径が小さくなり経線が混み合ってくるため, その煩雑さは一層増加する。

このような操作を迅速かつ正確に行うことができれば, ユニバーサルステージにより得られた多量のデータ処理も容易となり, 研究を進める上で非常に有益である。そこで, 筆者らはこのような操作をパーソナルコンピュータを用いて行うこと企図し, そのためのプログラムの開発を試みた。

Ⅲ. パーソナルコンピュータによるデータ処理

今回, 筆者らが開発したパーソナルコンピュータによる処理は, 上記の操作を球面上における点の問題として扱い, 全て演算によって行う。

シュミットネットを用いる投影では, 測定された面的要素の極, 線的要素とも一般に下半球の点が投影される。実際の演算では, 下半球のある点が定められた角度の回転によって得られる, 新たな位置を算出し, その点のシュミット投影における点の位置を算出する。また, 回転移動によって, 点が下半球から上半球へ移動する場合は, その点のもう一方の点, つまり対角線のある方向にある点は, 逆に上半球から下半球へ移動しているの, そちらの点を投影点とする。

前述のようにユニバーサルステージでの測定において, 求める点は岩石薄片内の基準方向(回転軸)からの方位角, その岩石薄片面からの落し角で与えられる。その点は, 岩石薄片面をxy面, 基準方向をx軸, 半径を1とする球面上の点とみなすことができる。

そこで, 測定された点をPとし, その方位角を ψ_p , 落し角 $\theta_p (>\pi/2)$, 球の半径を1とすると, Pは極座標で $(1, \theta_p, \psi_p)$ の形で表すことができる。ここで先に述べた第一回転角を α , 第二回転角を β とする。まず第一回転は同一球面内でPからx軸まわりに第一回転角 α ほど隔たった点Qの極座標 $(1, \theta_q, \psi_q)$ を求めることになる。 θ_q および ψ_q を求める式は次の通りである。

そこで, 測定された点をPとし, その方位角を ψ_p , 落し角 $\theta_p (>\pi/2)$, 球の半径を1とすると, Pは極座標で $(1, \theta_p, \psi_p)$ の形で表すことができる。ここで先に述べた第一回転角を α , 第二回転角を β とする。まず第一回転は同一球面内でPからx軸まわりに第一回転角 α ほど隔たった点Qの極座標 $(1, \theta_q, \psi_q)$ を求めることになる。 θ_q および ψ_q を求める式は次の通りである。

$$\theta_q = \arctan \frac{\sqrt{(\sin\theta_p \cos\psi_p)^2 + (\sin\theta_p \sin\psi_p \cos\alpha - \cos\theta_p \sin\alpha)^2}}{\cos\theta_p \cos\alpha + \sin\theta_p \sin\psi_p \sin\alpha}$$

$$\psi_q = \arctan \frac{\sin\theta_p \sin\psi_p \cos\alpha - \cos\theta_p \sin\alpha}{\sin\theta_p \cos\psi_p}$$

次に、この値に対するシュミットネット上の投影点を求め、さらに第二回転を加えなければならない。

ここでは、シュミットネットはコンピュータグラフィックで描くこととし、そのための演算を行う。コンピュータグラフィックにおける X-Y 座標 (Y が 0 から下方向に+, X は 0 から右方向へ+) で中心の座標を (0,0), 北極を (0,-R), 南極を (0,R) としたシュミットネット上で、Q の投影点 (x_q, y_q) は次の式で与えられる。

$$x_q = R\sqrt{2} \sin(-\theta_q/2) \sin\psi_q \cos\beta \\ - R\sqrt{2} \sin(-\theta_q/2) \cos\psi_q \sin\beta$$

$$y_q = R\sqrt{2} \sin(-\theta_q/2) \cos\psi_q \cos\beta \\ + R\sqrt{2} \sin(-\theta_q/2) \sin\psi_q \sin\beta$$

入力した測定値から、これらの演算式を経て結果が出力されるよう、プログラムを構築すればよい。

具体的な参考例として、岩石薄片中の面的要素のデータ処理を行うプログラムの 1 例が付表に示されている。このプログラムでは、ユニバーサルステージからの読み取り値から直接的に天頂角 θ と方位角 ψ を算出し、さらに、回転させた軌跡も描かれるよう、演算においていくつかの工夫がなされている。

プログラム立ち上げ後、まず、第一回転角 (上記の α にあたる) と第二回転角 (同、 β) を入力する。これらの角度は、測定すべき岩石薄片における方向と、まとめて投影すべき面の方向との関係によってそれぞれ決められる。しかし、後に、まとめて投影する面を変更する場合でも、測定データそのものがファイルとしてフロッピーディスクに保存されているため、容易に再計算ができる。

ここでは、第一回転角は、向かって右から左へ点を移動させる場合は正の値、左から右の場合は負の値とする。また、第二回転角は反時計回りの場合は正の値、時計回りの場合では負の値とする。

引き続き、測定データを入力すれば、演算結果がグラフィック画面に描かれたシュミットネット上にプロットされる。さらに、コンター図は、林・吉村・吉野 (1987) の方法 (一部がプログラム中にサブルーチンとして示されている) を用い

て、結果から直接に描画することができる。

上記プログラムによる実際のデータ処理の例を図 1 に示す。実際には、結果がディスプレイ上に描かれるが、この図はその画面のハードコピーである。

この例は、西中国山地に分布する花崗閃緑岩 (吉野・林, 1989, 林, 1989) の石英粒に見られる、微細な流体包有物が形成する面について測定・処理したものの 1 部である (林, 準備中)。

図中の D-A を結ぶ線を基準として入力された面の極が○(緑), 第一回転の結果が○(赤), さらに第二回転の結果が◎(赤) でプロットされている。また、回転移動の途中経過が 1 つ 1 つ確認できるように、回転の軌跡が、3 度ずつ隔たった点の連続プロットによって示されている。1 データあたりの処理時間はこのような軌跡の描画を含めても 1 秒~2 秒である。しかし、実際には、このような途中経過の表示は必要ではないので、それらを省略し結果のみ示すようにすれば、大幅に処理時間が短縮される。

IV. おわりに

ユニバーサルステージ用いた岩石薄片の幾何学的データは、岩石学、構造地質学、構造岩石学などの研究分野にとって重要なものである。

例で述べたような面的要素の処理に限らず、プログラムの内、入力に関する部分の簡単な変更によって、上記の分野で扱う様々な微細構造の幾何学的データの処理が可能となる。

また、野外での大構造、中構造や顕微鏡的な微細構造などのデータについても、本方法を活用することにより、容易かつ短時間にそれぞれを同一ネット上に投影できるため、それらの相互関係を比較検討する上で有益である。

参考文献

- 林 武広 (1989) : 安芸西部山地の花崗岩類—特に岩相区分と構造について—, 日本地質学会西日本支部会報, No. 92, pp 7—8.
- 林 武広・鈴木 盛久 (1990) : 画像解析による花崗岩類のモード測定, 岩石鉱物鉱床学会誌, vol. 85, No. 2, pp 60—65.
- 林 武広・吉村 典久・吉野 言生 (1987) : 地質体の構造に関する幾何学的データのコン

- ピュータグラフィック, 広大学校教育学部紀要, 第II部, 10巻, pp 135-142.
- Turner, F.J. & Weiss, L.E. (1963): Structural analysis of metamorphic rocks, McGraw-Hill, pp 545.
- 吉村 典久・林 武広 (1983): 滝山峡の花崗岩の節理, 総合学術調査研究報告, pp 131-153.
- 吉村 典久・林 武広 (1989): 太田川流域の侵食小起伏面と断裂系, 立岩貯水池周辺地域の自然, (自然環境調査報告), pp 15-32.
- 吉野 言生・林 武広 (1989): 広島県西部太田川源流地域の花崗岩質岩石, 立岩貯水池周辺地域の自然 (自然環境調査報告), pp 107-145.

A Method of Processing of Geometric Data Obtained from Rock Thin Sections on a Personal Computer

Takehiro HAYASHI, Morihisa SUZUKI, Norihisa YOSHIMURA and Gensei YOSHINO

In structural analysis it is sometimes necessary to rotate the fabric data on projection diagrams. A program for the rotation has been developed for a personal computer (NEC 9801). The program is designed to rotate each projected point, which represents orientation of a fabric element, through a given angular distance in a given sense on projection diagram.

Using the program now prepared, combined with another one written by HAYASHI et al. (1987), it is possible to draw orientation diagrams to evaluate preferred orientation of microscopic fabric elements as well as mesoscopic to macroscopic ones.

付表 プログラムの1例

```

10 '*****
20 '*   シュミット回転投影プログラム       T,Hayashi 1990,August *
30 '*****
40 '
50 '*****初期設定・色調設定*****
60 CONSOLE 0,24,0,1:CLS 3:SCREEN 3,0,0,1:PI=3.1416
70 COLOR ,,2: COLOR=(0,&H0):COLOR=(1,&H777):COLOR=(2,&HAA0):COLOR=(3,&HFF0)
80 COLOR=(4,&H7F0):COLOR=(5,&HF0):COLOR=(6,&HA0):COLOR=(7,&HFF)
90 COLOR=(8,&HAA):COLOR=(9,&HA):COLOR=(10,&HF):COLOR=(11,&HFOF)
100 COLOR=(12,&HAA0):COLOR=(13,&HA00):COLOR=(14,&HF00):COLOR=(15,&HFFF)
110 '*****処理条件設定*****
120 PRINT "+++++++このプログラムは下半球投影専用です+++++++" :PRINT
130 PRINT "●処理条件を設定します" :PRINT
140 INPUT "●データディスクはどのドライブですか" :DISK$
150 FILES DISK$
160 PRINT :PRINT "データ名は固有名と拡張子で構成されます":PRINT
170 INPUT "●固有名を入れて下さい(8文字以内)": KOYU$
180 INPUT "●拡張子名を入れて下さい(3文字以内)": KAKUTYOS
190 NNS=DISK$+KOYU$+"."+KAKUTYOS
200 PRINT :PRINT "第一回転は向かって右に点を移動させる場合は+、左に移動させる場合は-とします。"
210 INPUT "●回転させる角度に+/-をつけて入力して下さい":KAKUDO
220 KAITENKAKU=KAKUDO
230 IF KAKUDO<0 THEN HOKOS="-" ELSE HOKOS="+"
240 PRINT :PRINT "第二回転は反時計回りを+、時計回りを-とします。"
250 INPUT "●回転させる角度に+/-をつけて入力して下さい":KAKUDO2
260 CLS 3
270 LOCATE 0,1:PRINT "第一回転角=":KAKUDO:HOKOS:LOCATE 35,1:PRINT "終り:方向角=9
9.ミス:次方向角=-99"
280 LOCATE 0,24:PRINT "第二回転角=":KAKUDO2:SPC(23):"データ名=":NNS
290 CONSOLE 2,21,0,1 :LOCATE 0,2
300 DIM UN(400,6):DIM UNS(400,3)
310 CIRCLE (200,200),180,15
320 LINE(195,200)-(205,200),15:LINE(200,195)-(200,205),15
330 PUT(200,0),KANJI(&H144) '*** K
340 PUT(395,192),KANJI(&H2D) '*** -
350 PUT(0,192),KANJI(&H2B) '*** +
360 PUT(200,392),KANJI(&H141) '*** A
370 '*****
380 '*           m a i n
390 '*****
400 FOR N= 1 TO 400
410 PRINT SPC(53);N;"番目"
420 PRINT SPC(53):INPUT "面の方向角 (+)/(-) ":UN(N,1)
430 IF UN(N,1)=99 THEN 750
440 IF UN(N,1)=-99 THEN N=N-1 :GOTO 410
450 IF UN(N,1)>90 OR UN(N,1)<-90 THEN 420 ELSE 460
460 PRINT SPC(53):INPUT "極の落し角 ":KATAMUKI
470 IF KATAMUKI >90 OR KATAMUKI <0 THEN 460
480 PRINT SPC(53):"面の傾斜角=" :90-KATAMUKI
490 IF UN(N,1)=0 THEN 520 ELSE 500
500 PRINT SPC(53):INPUT "面の傾斜方向 D/A/+/-":UNS(N,1)
510 IF UNS(N,1)="D" OR UNS(N,1)="d" OR UNS(N,1)="A" OR UNS(N,1)="a" OR UNS(N,1)
="+" OR UNS(N,1)="-" THEN 540 ELSE 500
520 PRINT SPC(53):INPUT "面の傾斜方向 +/-" :UNS(N,1)
530 IF UNS(N,1)="-" OR UNS(N,1)="-" THEN 540 ELSE 520
540 '***測定値のψとθを決める*****
550 UN=UN(N,1)
560 IF UN=0 THEN 570 ELSE 590
570 IF UNS(N,1)="+ THEN PHAI=90 :SITA=90-KATAMUKI:GOTO 660
580 IF UNS(N,1)="- THEN PHAI=-90 :SITA=KATAMUKI+90:GOTO 660
590 IF UN < 0 THEN 630
600 '***+方向
610 IF UNS(N,1) ="D" OR UNS(N,1)="d" OR UNS(N,1)="-" THEN PHAI=UN-90 :SITA=KATAM
UKI+90:GOTO 660
620 IF UNS(N,1) ="A" OR UNS(N,1)="a" OR UNS(N,1)="+ THEN PHAI=UN+90 :SITA=90-KA
TAMUKI:GOTO 660
630 '***-方向
640 IF UNS(N,1) ="D" OR UNS(N,1)="d" OR UNS(N,1)="+ THEN PHAI=UN+90 :SITA=KATAM
UKI+90:GOTO 660
650 IF UNS(N,1) ="A" OR UNS(N,1)="a" OR UNS(N,1)="-" THEN PHAI=UN-90 :SITA=90-KA
TAMUKI:GOTO 660
660 UN(N,2)=SITA
670 SITAP=SITA*PI/180:PHAIP=PHAI *PI/180
680 GOSUB *ZAHYO
690 GOSUB *KISEKI1
700 GOSUB *KAITEN1
710 GOSUB *KISEKI2
720 GOSUB *KAITEN2
730 PRINT
740 NEXT N
750 PRINT "ディスクにデータを記録しています"
760 GOSUB *INTODISK

```

パーソナルコンピュータによる岩石薄片の幾何学的データの処理

```

770 INPUT "コンターダイアグラムを描きますか(Y/N)";CONTOURS$
780 IF CONTOURS$="N" OR CONTOURS$="n" THEN 850
790 CLS 1:GOSUB *CONTOUR
800 CONSOLE 0,25,0,1:CLS 1:PRINT "リターンを押すとポイント図とコンターダイアグラムが交互に出ます。E+リターンで終了します"
810 INPUT OWARIS$:IF OWARIS$="E" OR OWARIS$="e" THEN 850 ELSE 820
820 SCREEN 3,2,0,1:SCREEN 3,0,1,33:INPUT OWARIS$
830 IF OWARIS$="E" OR OWARIS$="e" THEN 850 ELSE 840
840 SCREEN 3,2,1,33:SCREEN 3,0,0,1:GOTO 810
850 CONSOLE 0,25:END
1000 '*****
1010 '* sub routine *
1020 '*****
1030 *ZAHYO '***測定データ座標変換サブルーチン*****
1040 IF KAITENKAKU < 0 THEN D=-3 ELSE D=3
1050 XP=SIN(SITAP)*COS(PHAIP)
1060 YP=SIN(SITAP)*SIN(PHAIP)
1070 ZP= COS(SITAP)
1080 SITAPP=ATN(SQR( XP^2+ YP^2)/ ZP):PHAIPP=ATN( YP/ XP):CL=4
1090 SITAD=SITAPP:PHAID=PHAIPP:CL=14:GOSUB *PLOT
1100 RETURN
1110 *KISEKI1 '***第一回軌跡描画サブルーチン*****
1120 IF XP < 0 THEN KAITEN=-KAITENKAKU:D=-D:GOTO 1140
1130 KAITEN=KAITENKAKU :D=D
1140 FOR J=0 TO KAITEN STEP D:JJ=J*PI/180
1150 XXP=XP
1160 YYP=YP*COS(JJ)-ZP*SIN(JJ)
1170 ZXP=ZP*COS(JJ)+YP*SIN(JJ)
1180 SITAPP=ATN(SQR(XXP^2+YYP^2)/ZXP):PHAIPP=ATN(YYP/XXP)
1190 HANKEI=SQR(2)*190 *SIN(-SITAPP/2)
1200 DX=HANKEI*SIN(PHAIPP):DY=HANKEI*COS(PHAIPP)
1210 PSET (DX+200,DY+200),3
1220 NEXT J
1230 RETURN
1240 *KAITEN1 '***第一回軌計算サブルーチン*****
1250 IF XP < 0 THEN KAITEN=-KAITENKAKU*PI/180:GOTO 1270
1260 KAITEN=KAITENKAKU*PI/180
1270 XXP=XP
1280 YYP=YP*COS(KAITEN)-ZP*SIN(KAITEN)
1290 ZXP=ZP*COS(KAITEN)+YP*SIN(KAITEN)
1300 SITAPP=ATN(SQR(XXP^2+YYP^2)/ZXP):PHAIPP=ATN(YYP/XXP)
1310 SITAD=SITAPP:PHAID=PHAIPP:CL=12:GOSUB *PLOT
1320 RETURN
1330 *PLOT '***投影点プロットサブルーチン*****
1340 ALPHA=-SITAD
1350 HANKEI=SQR(2)*190 *SIN(ALPHA/2)
1360 DX=HANKEI*SIN(PHAID):DY=HANKEI*COS(PHAID)
1370 CIRCLE (DX+200,DY+200),2,CL
1380 RETURN
1390 *KISEKI2 '***第二回軌跡描画サブルーチン*****
1400 V=-KAKUDO2
1410 IF V<0 THEN DD=-3 ELSE DD=3
1420 FOR R=0 TO V STEP DD:RR=R*PI/180
1430 SX=DX*COS(RR)-DY*SIN(RR)
1440 SY=DY*COS(RR)+DX*SIN(RR)
1450 PSET(SX+200,SY+200),7
1460 NEXT R
1470 RETURN
1480 *KAITEN2 '***第二回軌・計算プロットサブルーチン*****
1490 R=-KAKUDO2:RR=R*PI/180
1500 SX=DX*COS(RR)-DY*SIN(RR)
1510 SY=DY*COS(RR)+DX*SIN(RR)
1520 CIRCLE (SX+200,SY+200),1,5 :CIRCLE (SX+200,SY+200),3,5
1530 UN(N,5)=SX:UN(N,6)=SY
1540 RETURN
1550 *INTODISK '***ディスク出力サブルーチン*****
1560 OPEN NNS$ FOR OUTPUT AS #1
1570 FOR N=1 TO 400
1580 FOR I=1 TO 6
1590 WRITE #1,UN(N,I)
1600 IF UN (N,1)=99 THEN 1640
1610 NEXT I
1620 WRITE #1,UN$(N,1),UN$(N,2),UN$(N,3)
1630 NEXT N
1640 CLOSE
1650 KOSU=N-1
1660 RETURN
1670 *CONTOUR '***コンターダイアグラム描画サブルーチン*****
1680 CONSOLE 0,25,0,1:SCREEN 3,3,0,1 :SCREEN 3,0,1,33 :CLS 3
1690 CIRCLE (200 ,200),190 ,15
1700 FOR N= 1 TO KOSU
1710 X=UN(N,5):Y=UN(N,6)
1720 Z=SQR(ABS(X *X )+ABS(Y *Y )) :ZZ=380 -Z

```

```
1730 IF Z>171 THEN 1850 ELSE 1740
1740 FOR I= (Y-19 ) TO (Y+19) STEP 1
1750 IY=(I-Y)*(I-Y)
1760 IF IY>361 THEN IY=361
1770 III=(-SQR(361-IY)+X):IIII=(SQR(361-IY)+X)
1780 FOR II=III TO IIII STEP 1
1790 SX=CINT(II +200):SY=CINT(I+200):CL=POINT(SX,SY)
1800 CL=CL+1:IF CL=16 THEN CL=1
1810 PSET (SX,SY),CL
1820 NEXT II
1830 NEXT I
1840 GOTO 2060
1850 FOR I=(Y-19) TO (Y+19) STEP 1
1860 IY=(I-Y)*(I-Y)
1870 IF IY>361 THEN IY=361
1880 III=(-SQR(361-IY)+X):IIII=(SQR(361-IY)+X)
1890 FOR II=III TO IIII STEP 1
1900 SX=CINT(II +200):SY=CINT(I+200):CL=POINT(SX,SY)
1910 CL=CL+1 :IF CL=16 THEN CL=1
1920 PSET (SX,SY),CL
1930 NEXT II
1940 NEXT I
1950 XX=-ZZ/Z*X:YY=-ZZ/Z*Y
1960 FOR I= YY-19 TO YY+19 STEP 1
1970 IY=(I-YY)*(I-YY)
1980 IF IY>361 THEN IY=361
1990 III=(-SQR(361-IY)+XX):IIII=(SQR(361-IY)+XX)
2000 FOR II=III TO IIII STEP 1
2010 SX=CINT(II +200):SY=CINT(I+200):CL=POINT(SX,SY)
2020 CL=CL+1 :IF CL=16 THEN CL=1
2030 PSET (SX,SY),CL
2040 NEXT II
2050 NEXT I
2060 NEXT N
2070 CIRCLE (200 ,200 ),190,15
2080 PAINT (0,0),0,15
2090 LINE (200,195)-(200,205),15:LINE (195,200)-(205,200),15
2100 LINE (200,10 )-(200,0),15
2110 INPUT"NEXT=RETURN";EN:IF EN=0 THEN 2130
2120 '*****
2130 RETURN
```