

## 日食の計算プログラム(2)

遠山 御幸

私が現在、日食計算の主力機として使っているNECのパーソナルコンピューターPC-9800は、640×400ドットの強力なカラーグラフィック命令をそなえており、これらの機能を活用することによって、今まで多くの時間を費やしていた日食状況の作図を短時間で実行することが可能です。

日食が起るたびに、私が今まで行なってきた局地予報に関する作図としては、任意の観測地点における、食分の進行状況を表わしたものと、その図をもとにして、太陽の位置を地平座標で表わしたものの2枚です。(日食情報1979 163, P20, P21参照)

今回はこれらをプログラム化したものと、日食の進行状況をシュミレートするためのプログラムを紹介したいと思います。なお、今回紹介ある3本のプログラムは、前回紹介した局地予報の計算プログラムを3種類の形で図化したものです。従って以下に述べる①～③までの計算は前回までとまったく共通ですので、そちらを参考にして下さい。

- ① 食の最大となる時刻の計算
- ② 入力した観測地における日食の種類判断
- ③ 各接触時刻の計算

なお、これらの情報は各プログラムとも、モニター画面右端に示されます。また、観測地のデータ入力の際に、誤って日食の見られない地点を入力して、そのままプログラムを実行してしまった場合は、②で判断を行ない、「日食は見られない」という警告を出してプログラムの実行を停止します。(入力した観測地のデータに誤りがないかどうかの確認と訂正は別のサブルーチンで行なっています。)

### ◎食分の進行状況のディスプレイプログラム

このプログラムでは、前述の①～③の計算を行なったあと、第1接触から第4接触までの間を10分毎に、次の手順で計算を行ないます。

#### 1. 月影の座標と観測者の座標の計算

月影の座標を $x$ 、 $y$ 、 $z$ とし、観測者の座標を $\xi$ 、 $\eta$ 、 $\zeta$ として、両者の相対的な位置関係係 $u = x - \xi$ 、 $v = y - \eta$ を求めます。

#### 2. 位置角 $Q$ 、天頂方向角 $V$ 、極頂対角 $C$ の計算

位置角 $Q$ は北から東回りに $360^\circ$ まで測る値で

$$\tan Q = u/v \quad (1)$$

となり、このときの $u$ と $v$ の符号から象限を判定します。次に天頂方向角 $V$ は、

$$V = Q - C \quad (2)$$

となります。ここで極頂対角Cは、このプログラムでは精度が要求されないので、前回の(1)式である。

$$\tan C = \xi / \eta \quad (3)$$

を用います。ここでCの象限判定は $\xi$ と $\eta$ の符号から行ないます。

### 3. 月と太陽の視半径の計算

日食の計算においては、月の赤道半径と地球の赤道半径との比を0.272281として計算が行なわれます。また上記のu及びvは地球の赤道半径を単位として表わされる量であるので、これより月の視半径SMを0.272281とすれば、太陽の視半径S $\odot$ は

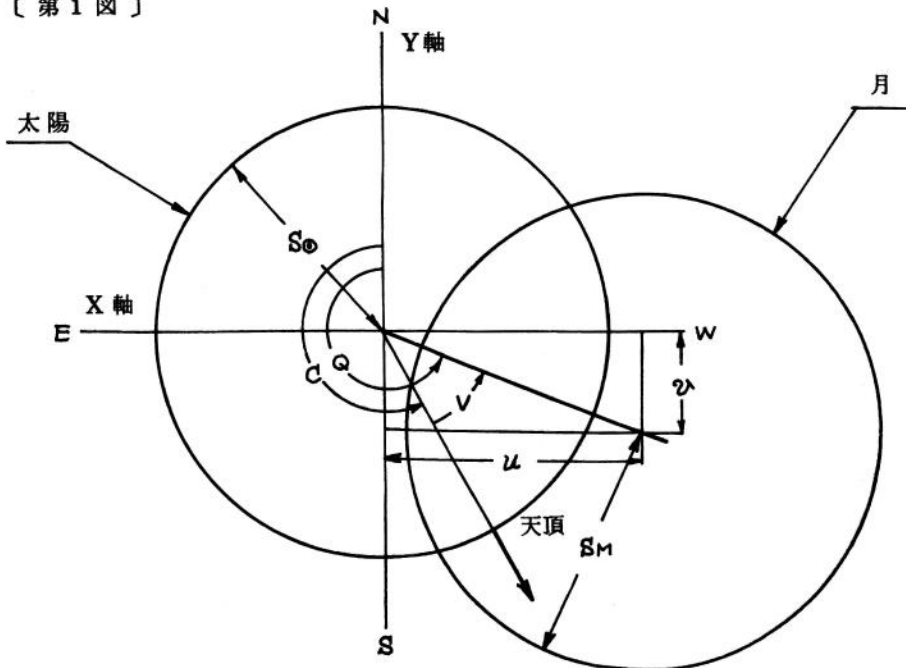
$$S_{\odot} = 0.272281 \frac{L_1 + L_2}{L_1 - L_2} \quad (4)$$

となり、太陽の視半径を求めることができます。実際の日食では太陽の視半径は一定であり、月の視半径が変化しますが、その変化は少ないので、プログラムではこの方法を採用しています。

### 4. ディスプレイ画面上における座標の回転

1～3までの計算で、画面上に、任意の時刻における太陽の欠け具合を表示するためのデータがそろいました。これらの関係を第1図に示します。なお、ベッセル基準面上における座標のX軸は、東の方向をプラスとしているので、作図のときには、図の左側を東としてプラスの方向とすることに注意します。

〔第1図〕



1983年6月11日の皆既日食、南緯7°41'35"、東経110°12'35" (4h29m UTに皆既中心線の通る地点)における局地予報、3h30m UT、 $u = -0.300794$ 、 $v = -0.115112$ 、 $Q = 249.1$ 、 $C = 210.6$ 、 $V = 38.4$  食分0.405、 $S_{\odot} = 0.2591$ 、 $S_M = 0.2723$

ところで、ディスプレイ画面上に第1図の状態を描いてしまうと、北を上にした形の図になってしまうことになり、このままでは観測の資料として用いるのは非常に不便である。そこで、前述のQ、V、Cの値を利用して天頂を上にした図になるよう、次式を用いて座標を回転します。ここで回転させる角度の量を仮にNVとすると、

$$NV = 360^\circ - (Q - V) = 360^\circ - C = -C \quad (5)$$

また回転したあとの座標をru、rvとすると、

$$\left. \begin{aligned} ru &= u \cos NV - v \sin NV \\ rv &= u \sin NV + v \cos NV \end{aligned} \right) \quad (6)$$

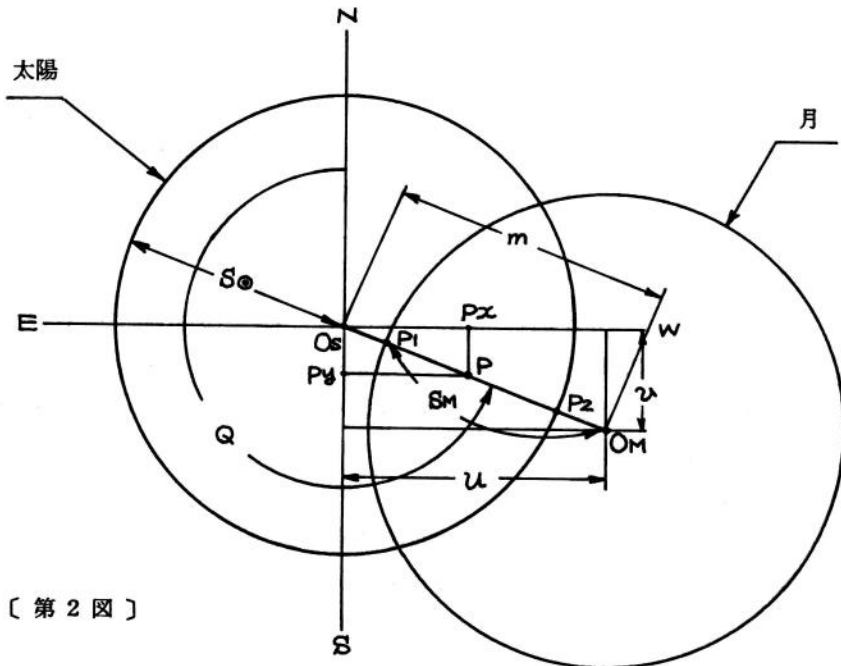
となり、この値を中心に月の視半径を描けば、天頂を上にした図を描くことができます。なお、図の左側がプラスとなるので $u = -u$ として上式の計算を行なうことに注意します。

#### 5. 太陽の欠けている部分のペイント

1～4までの計算で天頂を上にして太陽と月の位置を描くことができました。ここで太陽を黄色で、月を黒でぬりつぶしてしまえば太陽の欠けている状態を表現することができます。ただし、月の位置が太陽からかなり離れたところに位置する時に、この命令を実行すると、私の使用しているシステムのBASICでは、Illegal function call という種類のエラーとなり、プログラムの実行が停止してしまいます。そこで欠けている部分をペイントするための中心点を次のようにして求めます。

第2図において、ペイントするための中心点をPとし、太陽の中心から月の中心までの距離をmとすると、

$$m^2 = u^2 + v^2 \quad (7)$$



[ 第2図 ]

となります。太陽の中心と月の中心を結ぶ線と、両者のリムの交点をそれぞれ  $P_1$ 、 $P_2$  とすると、

$$P_1 P_2 = S \odot - (m - SM) \quad (8)$$

また太陽の中心から点Pまでの距離  $O_s P$  は

$$O_s P = S \odot - P_1 P_2 / 2 \quad (9)$$

従って、その座標を  $P_x$ 、 $P_y$  とすると

$$\begin{aligned} P_x &= O_s P \cos(Q + 90^\circ) = -O_s P \sin Q \\ P_y &= O_s P \sin(Q + 90^\circ) = O_s P \cos Q \end{aligned} \quad (10)$$

となり、点Pの座標を求めることができます。なお4において、天頂が上になるよう座標を回転しているので、 $P_x$ 、 $P_y$ も同様に(5)、(6)式における  $u$  を  $P_x$ 、 $v$  を  $P_y$  におきかえて座標を回転します。ただし、 $P_x = -P_x$  としてはいけません。また

$$m \geq S \odot + SM \quad (11)$$

のときは、ベイントする必要はありません。

以上のような計算を行なうことによって、ディスプレイ画面上に天頂を上にして太陽の欠けた状態を表わすことができます。なお、私が使っているPC-9800では、ワールド座標系(論理的座標)とスクリーン座標系(物理的座標)というグラフィックス処理の概念があって、これらをうまく利用することによって、プログラムを短かくし、わかりやすくすることができます。機械特有のテクニックになってしまうので、ここでは紹介しませんが、このプログラムでもこれらの命令を活用しています。

プログラムの実行結果を第3図に示します。なお、プログラムの実行時間は約1分20秒前後となっています。

### ◎日食状況のディスプレイプログラム

このプログラムでは、前述のプログラムと同様に、まず月影の座標と観測者の座標の相対的な位置関係を求めて、1～5までまったく同じ計算を行ない、計算を行なったデータをひとまずメモリーに保存しておきます。(8でデータを使用する)

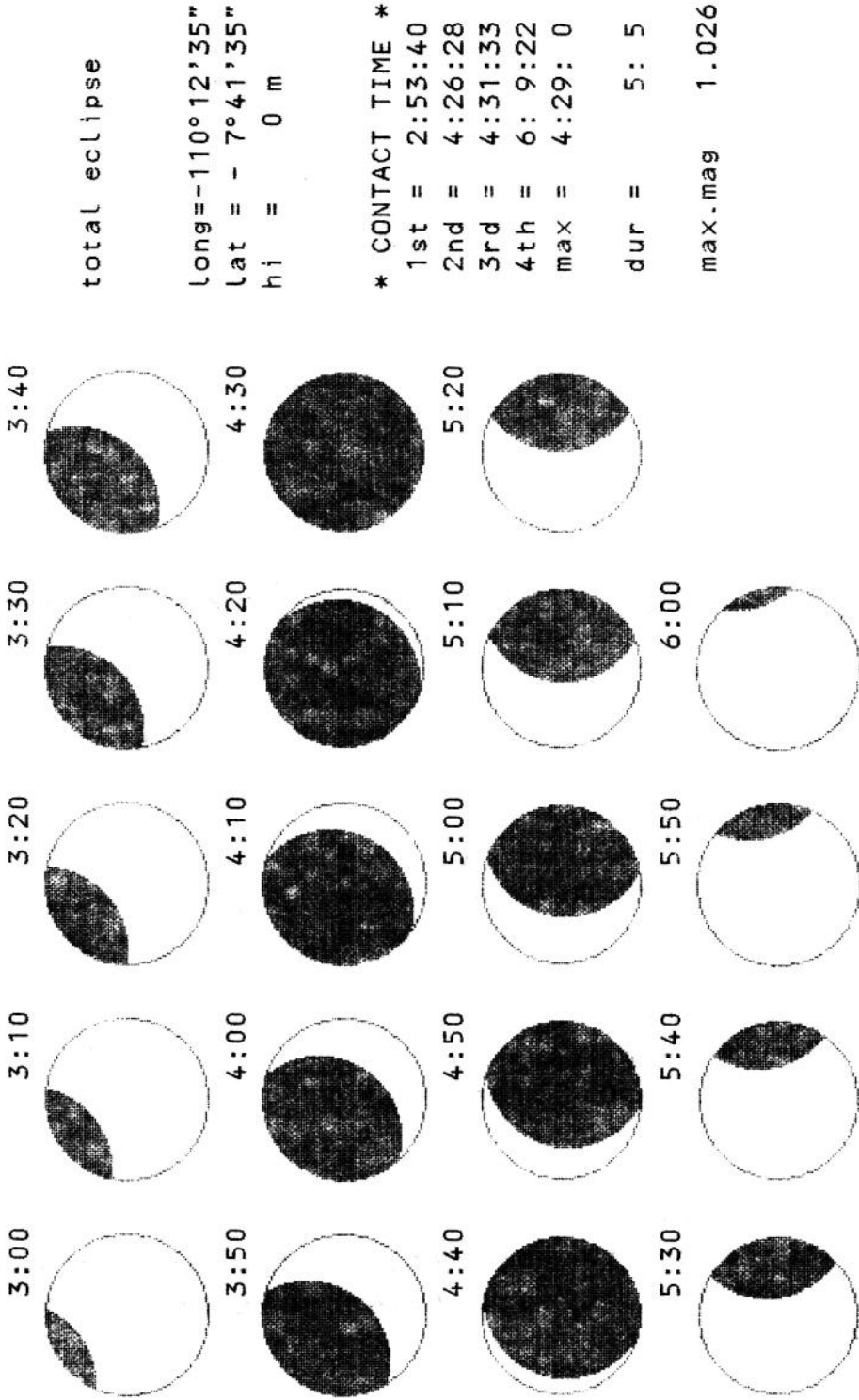
#### 6. 太陽の高度と方位角の計算

太陽の高度と方位角の計算は、日食の計算においては、月影方向の値で代用される場合もありますが、ここでは瞬時の平均赤道と平均春分点に準拠した地球の平均軌道要素から、ケプラーの方程式を解いて、これより太陽の赤径・赤緯を求め、それをさらに観測地における高度・方位座標に変換し、8で使用します。

#### 7. 天球の描画

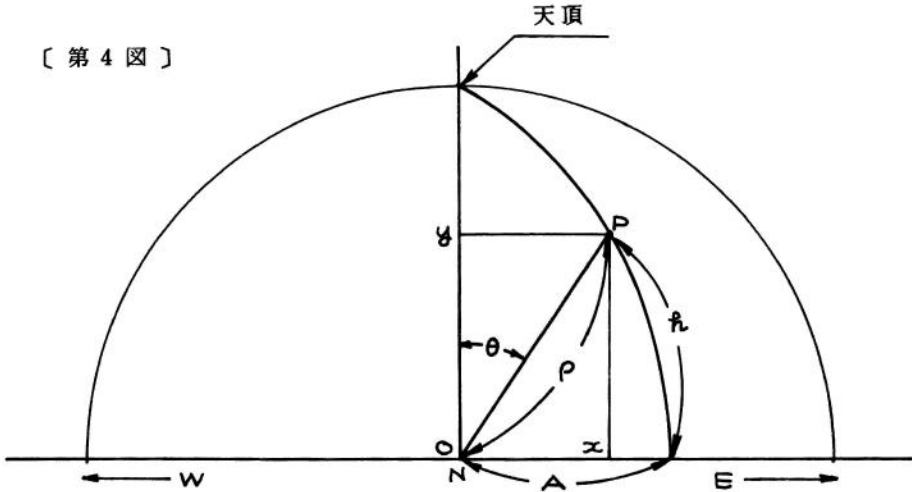
1～6までの計算で、地平座標に太陽の位置を示し、その欠け具合を表わすデータが準備できますので、ディスプレイ画面の横軸に方位角、縦軸に高度をとって、天球を描きます。

Local circumstances of total solar eclipse 1983年6月11日



〔第3図〕4h29m UTに中心線の通る地点における予報、天頂を上にして描いた図

この場合、ただ単純に高度・方位を画面の縦・横軸に対応させてしまうと、天頂付近で日食が起った場合、方位角の変化が激しく、画面に、日食の始めから終わりまでを描ききれなくなってしまうことがあります。そこでこのプログラムでは、天球を次のようにして表現しています。



第3図において、任意の時刻における太陽の位置を点Pとし、中心Oから点Pまでの角距離をd、天頂からの方向角を $\theta$ として、太陽の高度と方位角をそれぞれh、Aとすると、

$$\left. \begin{aligned} \sin d \sin \theta &= \cos h \sin A & (1) \\ \sin d \cos \theta &= \sin h & (2) \\ \cos d &= \cos h \cos A & (3) \end{aligned} \right\} (12)$$

となります。ここで $\theta$ は天頂から時計回りに測った角とします。(2)式において $\sin h$ は常にプラスの値をとるので $\theta$ は第1象限か第4象限の角となるので、(12)式を次のように変形してもかまいません。

$$\left. \begin{aligned} \cos d &= \cos h \cos A \\ \sin \theta &= \cos h \sin A / \sin d \end{aligned} \right\} (13)$$

天球の半径をR、中心のOからの距離を $\rho$ とすると、

$$\left. \begin{aligned} \rho &= R \times d \\ x &= \rho \sin \theta \\ y &= \rho \cos \theta \end{aligned} \right\} (14)$$

となり、天球上における太陽の座標を求めることができます。(13)、(14)式を用いて天球を描きますが、仮想上、ここでは北を中心として天球を描きます。ただし画面に表示される部分は、8で述べる範囲となります。

## 8. 太陽の位置のプロットと食分の表示

食の最大の時刻における太陽の高度と方位角の近くの、10で割り切れる値の高度と方位角を、画面の中心として、天球の高度は $\pm 25^\circ$ 、方位角は $\pm 35^\circ$ の範囲を画面に表示します。従って、プログラムでは常に、食の最大における太陽の位置が、画面の中央にくるようになり、バランスのとれた画面を構成することができます。ただし、以上のような理由によって、場合によっては、実際の空で見るときの多少ちがった印象の画面を作ることもあるようです。

なお、太陽の位置をプロットするときも、(13)、(14)式で座標を計算してから表示することは、いうまでもありません。また、天頂は画面の中央の上部にくることになるので、先の食分の進行状況ディスプレイプログラムの4で述べた座標の回転をさらに $\theta$ の分だけ回転することになります。

以上のような処理を行なうことによって、任意の観測地点における日食の状況を画面上にディスプレイすることができます。プログラムの実行結果を第5図に示します。なお、プログラムの実行時間は約4分20秒前後です。

### ◎日食のシュミレーションプログラム

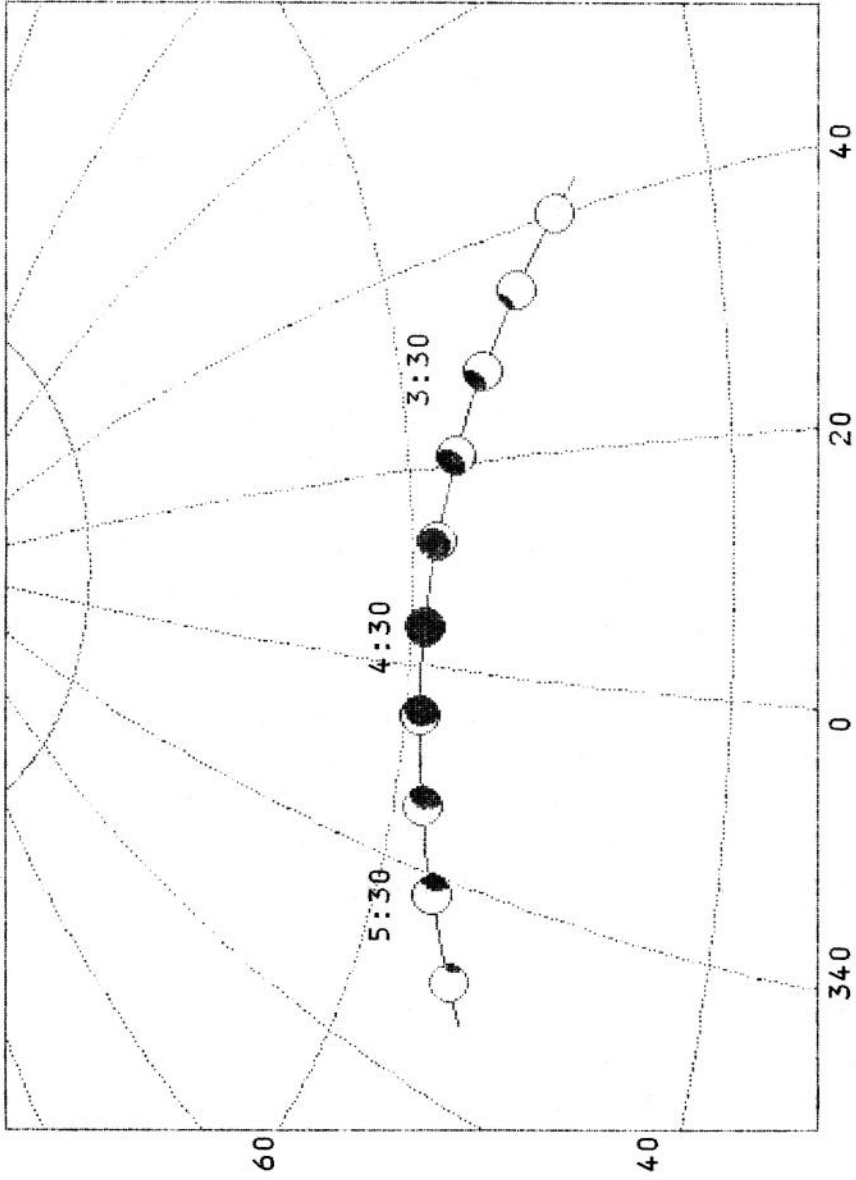
このプログラムは、前述の、食分の進行状況のディスプレイプログラムと、ほぼ同一の計算内容です。ただし、第1接触から第4接触までのそれぞれの時刻における日食の状況を拡大して連続的に画面に表示することによって、任意の観測地における日食をシュミレートすることができます。

PC-9800は、白黒モードで640×400ドットの画面を3画面もっており、これらの任意の画面に書き込みの命令を実行することができます。また3画面をそれぞれ単独で表示したり、合成することが可能で、これらの機能を活用することによって、ごく自然なシュミレーションが行なえます。

最初に表示する時刻を $T_0$ として、この時刻における食分の状態を第1画面に書き込みを行ないモニターへ表示します。この間に $T_1$ の時刻における食分の状態を第2画面に書き込み、終了したところで第2画面をモニターへ表示します。この動作をくりかえすことによって、実際の日食と同じように、月が移動していく様子をモニター上に再現することができるわけです。なお、皆既日食の場合は、食分が1より大きくなると、コロナのパターンが表示されることになっています。

今回紹介した3本のプログラムは、実際の観測に役立てることはもちろんですが、プラネタリウム館などの展示用としても利用できるように考慮したつもりです。また、都合によりモニター画面のハードコピーをお見せしましたが、実際にはカラーグラフィックスによって美しい

Local circumstances of total solar eclipse 1983年6月11日



total eclipse

long = -110° 12' 35"  
 lat = - 7° 41' 35"  
 hi = 0 m

\* CONTACT TIME \*

1st = 2:53:40  
 2nd = 4:26:28  
 3rd = 4:31:33  
 4th = 6: 9:22  
 max = 4:29: 0

dur = 5: 5

max.mag 1.026

【第5図】 4h29m UTに中心線の通る地点における予報、方位角は北から東回りに測った値



画面を得ることができます。

ところが、私関数電卓を用いて日食計算を行っていた頃には、今回紹介したような図を作るまでに、計算と作図を含めて約1ヶ月を要していました。ポケットコンピューターを使うようになってからは約1週間となり、PC-9800では約10分もあれば全ての処理を行なうことができるようになりました。このことからパーソナルコンピューターが、日食計算においていかに効果を発揮するかがおわかり頂けると思います。

なお前述した3本のプログラムの説明に関しては、機械特有の機能に関する部分も多く、理解しにくい部分も多いことと思います。末筆ながらお詫びを申し上げる次第です。

次回は皆既・金環日食帯の計算プログラムについて紹介したいと思います。 (つづく)

---

※ 前回掲載していただいた『日食計算プログラム』において、印刷上、下記の誤りがありましたので、訂正してください。

#### 正誤表

P.27 4行目、P.28 24行目、26行目、P.29 最終行のnを $\eta$ （ギリシャ文字のイーター）

P.27 表2の $d_2$ の値で、

0.001135を-0.001135      0.003620を-0.003620

P.29 11行目

プログラムは入力訂正はルーチンで行なっています。→

プログラムでは入力訂正は別のルーチンで行なっています。

---

### №3 日食遠征概況の訂正

交通公社本社内支店第6課の127名中、35名はアマチュア日食観測チーム（代表 石橋彰さん）に所属しています。

また、同127名中、29名はブルワールジヨで観測を行なっています。

以上の外は、各旅行社に確認いたしましたが、訂正の申入れはありませんでした。また、別のツアーで行かれた方の情報も得られませんでした。