

# 日食の計算プログラム

遠山御幸

だれでも知っているように、太陽・月・地球が一直線上にならんだときに日食が起ります。もし私達がこの時の様子を地球の外から見たとすると、月の影が地球上を西から東に進んでいくようにみえるでしょう。

日食中の任意の時刻における月の影は、ベッセル基準面上においては、まるい形をしていますが、地表面上においては、そのときの太陽の高度と方位角に応じて形が変化し、一般的には、太陽の方位角の方向に長軸を持つ楕円形となります。月の影には本影と半影とがあり、この楕円の形をした月の本影が移動していく軌跡が皆既日食帯もしくは金環日食帯で、本影の中心及び南北の縁を結んだものが、それぞれ中心線、南限界線、北限界線となります。

中心線上における継続時刻は、そのときの、中心線上を通りベッセル基準面に平行な面における本影の半径と、月影の移動速度から決定される量であり、また太陽の高度は、そのときの太陽の赤経・赤緯もしくは、月影の座標から計算することができます。

日食帯の計算では、逐次近似法によって解を求めることが多く、これを手計算などで処理すると、非常に多くの時間と労力を費やすことになります。しかしながら、逐次近似計算は、コンピュータの最も得意とするところであり、極めて高速に計算を行うことが可能です。今回紹介する皆既日食帯の計算プログラムは、上記の中心線・継続時間・太陽高度を計算するものです。具体的な計算法に関しては、山本威一郎氏の『チャレンジしよう日食計算』に詳しく述べられていますので、そちらを参考にしてください。ここではプログラムの説明に必要な部分だけを掲載したいと思います。なお、基本的な計算法は *Astronomical Ephemeris* に準じており、天文定数系は IAU (1964) 定数系に基づいています。またベッセルの日食要素は、今まで紹介してきたプログラムと同様に、天体位置表に発表されたベッセル要素多項式をデータファイルとして扱い、Opplzer の日食番号を入力することによって呼び出しています。

## ◎ 皆既・金環日食帯の計算プログラム

### 1. 計算に必要なデータの入力

プログラムでは、まず最初に計算を行ないたい日食の Opplzer の日食番号を入力します。すると、それに該当する日食のベッセル要素多項式を計算するためのデータをディスクから呼び出してきました。このとき、該当する日食が部分日食の場合は、日食帯が存在しませんので、警告を出してプログラムの実行を停止します。つぎに計算を行なう始めと終りの時刻及び計算を行なう時刻の間隔を入力しますが、ここで何も指定しないときは、中心食の始めから終りまでを1分、5分あるいは10分のいずれかの間隔で計算を行ないます。時刻を指定した場合は4から計算を行ないます。

### 2. 中心線の始めと終りの時刻及び位置の計算

中心線の始めと終りの時刻の近くの任意の時刻を $T_0$  とすると、始めと終りの時刻 $T$ は

$$T = T_0 + t \quad (1)$$

ここで、

$$t = \frac{1}{n^2} \cos \varphi_2 - \frac{x_0 x_1' + y_{10} y_1'}{n_2^2} \quad (2)$$

(2)式において

$$n_2^2 = x_1'^2 + y_1'^2 \quad (3)$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{x_0 y_1' - x_1' y_{10}}{n_2} \quad (4)$$

となります。 $\cos \varphi_2$  の符号は中心食の始めではマイナス、終りではプラスとなります。計算の始めは $T_0$  の時刻がわからないので、適当な時刻を仮定します（プログラムではベッセル要素多項式の基準時刻を利用した）。こうして得られた $T$ を $T_0$  として、希望する精度が得られるまで上記の計算をくり返します。なお、中心食の始めと終りの地点においては、

$$\xi = x, \quad \eta_1 = y_1, \quad \zeta_1 = 0 \quad (5)$$

となるので、上記で得られた時刻における $x$ 、 $y_1$  をベッセル要素多項式から計算します。

ここで、

$$y_1 = y / \rho_1, \quad \rho_1 = (1 - e^2 \cos^2 d)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$e^2 = 0.00669454$$

となります。こうして得られた $\xi$ 、 $\eta_1$ 、 $\zeta_1$  を次式に代入して中心線の始めと終りの地点を求めます。

$$\left. \begin{aligned} \cos \varphi_1 \sin \theta &= \xi \\ \cos \varphi_1 \cos \theta &= -n_1 \sin d_1 + \zeta_1 \cos d_1 \\ \sin \varphi_1 &= n_1 \cos d_1 + \zeta_1 \sin d_1 \\ \lambda \star &= \mu - \theta \\ \tan \varphi &= (1 - e^2)^{\frac{1}{2}} \tan \varphi_1 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

なお、ここで得られる経度 $\lambda$ は暦表経度であり東経がマイナス、西経がプラスとなっているので、グリニッジ経度で表わすには、 $1.002738 \Delta T$ を減じることになります。

$$\lambda = \lambda \star - 1.002738 \Delta T \quad (8)$$

このようにして得られた中心食の始めと終りの時刻近くの10分で割り切れた時刻を計算の始めと終りの時刻として、前述した時刻の間隔で計算を行なうこととなります。

### 3. 南北限界線の端点と位置と時刻の計算

本影の南北限界のそれぞれの端点においては、太陽の天頂距離は $90^\circ$ であり、

$$\zeta_1 = 0$$

となります。これより、(9)

$$\left. \begin{aligned} \xi &= x - \ell_2 \sin Q \\ \eta_1 &= (y - \ell_2 \cos Q) / \rho_1 \\ \xi^2 + \eta_1^2 &= 1 \\ \tan Q &= (b' - a'_2 \sec Q) / c'_2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

ここで  $a'_2$ 、 $b'$ 、 $c'_2$  は計算を簡単にするための補助量を表わしています。  $\tan Q$  を計算するには、始め  $Q$  の値がわからないので、

$$\tan Q = b' / c'_2, \quad \sec Q = \pm e / c'_2, \quad e^2 = b'^2 + c'^2_2 \quad (11)$$

として  $a'_2 \sec Q$  の項を計算し、 $\tan Q$  を求めます。なお  $\cos Q$  の符号は皆既日食の北限と金環日食の南限ではプラス、皆既日食の南限と金環日食の北限ではマイナスとなります。

次に、南北限界線の始めと終りの時刻近くの任意の時刻を  $T_0$  とすると、始めと終りの時刻  $T$  は、

$$T = T_0 + t \quad (12)$$

これより

$$(\xi_0 + \xi' t)^2 + (\eta_{10} + \eta'_1 t)^2 = 1 \quad (13)$$

ここで

$$\xi' = x' \mp \ell_2 \frac{b'_2}{e}, \quad \eta'_1 = \frac{1}{\rho_1} (y' \mp \ell_2 \frac{c'_2}{e}) \quad (14)$$

となります。(14式において、上部の符号は  $\cos Q$  がプラスの時、下部の符号は  $\cos Q$  がマイナスの時に用います。また  $b'$ 、 $c'^2_2$  は  $b'$ 、 $c'_2$  の毎時変化を表わしています。

これより、

$$t = \frac{1}{n_3} \cos \psi_3 - \frac{\xi_0 \xi' + \eta_{10} \eta'_1}{n_3} \quad (15)$$

となり(12式)に代入して  $T$  を求めることができます。なお、

$$n_3^2 = \xi'^2 + \eta'^2_1 \quad \sin \psi_3 = \frac{\xi_0 \eta'_1 - \xi' \eta_{10}}{n_3} \quad (16)$$

であり、 $\cos \psi_3$  の符号は始めがマイナス、終りがプラスとなります。

このようにして得た  $T$  を  $T_0$  として再び(10式)から、希望の精度が得られるまで計算をくり返します。ただし2回目以降の近似計算においては、先の計算で得た  $Q$  を使用して  $\tan Q$  を計算します。

南北限界線のそれぞれの端点の位置を求めるには、上記で得た時刻におけるベッセル要素を多項式より計算し、(10式)より  $\xi$ 、 $\eta_1$  を計算し、 $\zeta_1 = 0$  として、(7式)に代入して経緯度を求めることができます。

#### 4. 中心線の位置及び継続時間の計算

皆既もしくは金環日食において、任意の時刻における中心線上の一点は、月影の軸と地球表面との交点です。従って、それぞれの時刻に対して、

$$\left. \begin{aligned} \xi &= x, \eta = y, \eta_1 = y / \rho_1 = y_1 \\ \zeta_1 &= (1 - \xi^2 - \eta_1^2)^{\frac{1}{2}} = (1 - x^2 - y_1^2)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right) \quad (17)$$

となるので、これを(7)式に代入して経緯度を求めることができます。また継続時刻は、

$$s = 2 \times L_2 / n \quad (18)$$

で求めることができます。ここで、

$$L_2 = \ell_2 - \zeta \tan f_2 \quad (19)$$

であり、また $\zeta$ は $\eta_1$ 、 $\zeta_1$ の値を利用して次式で求めることができます。

$$\zeta = \rho_2 \{ \zeta_1 \cos (d_1 - d_2) - \eta_1 \sin (d_1 - d_2) \} \quad (20)$$

さらに $n$ は

$$n^2 = (x' - \xi')^2 + (y' - \eta')^2 \quad (21)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} \xi' &= \mu' (-y \sin d + \zeta \cos d) \\ \eta' &= \mu' x \sin d - d' \zeta \end{aligned} \right) \quad (22)$$

で求めることができます。

## 5. 南北限界線の計算

任意の時刻における本影のそれぞれの限界の位置から、月影の軸までの距離は $L_2$ に等しく、従って、

$$(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 = L_2^2 \quad (23)$$

となります。ここで

$$\left. \begin{aligned} \xi &= x - L_2 \sin Q \\ \eta_1 &= (y - L_2 \cos Q) / \rho_1 \end{aligned} \right) \quad (24)$$

とすると、位置角 $Q$ は限界における条件を満してはならないことを示しており、

$$\tan Q = \frac{b' - \zeta d' - a' \sec Q}{c_2 - \zeta \mu' \cos d} \quad (25)$$

という式が導びかれ、この $\tan Q$ を求めることが限界線の計算となります。ここで $\cos Q$ の符号は、皆既日食の北限と金環日食の南限のときはプラス、皆既日食の南限と金環日食の北限のときはマイナスとなります。(25)式における $\zeta$ の値を知るには、 $L_2$ と $Q$ の数値を求めることが要求され、その結果、逐次近似法で解くことが必要となります。はじめ $L_2$ は中心線における継続時刻の計算で使用した $L_2$ の値を仮定し、また

$$\tan Q = \frac{b'}{c_2 - \zeta \mu' \cos d} = -\frac{y' - \eta'}{x' - \xi'} \quad (26)$$

として計算を行います。これより

$$\left. \begin{aligned} \zeta_1 &= (1 - \xi^2 - \eta_1^2)^{\frac{1}{2}} \\ \zeta &= \rho_2 \{ \zeta_1 \cos (d_1 - d_2) - \eta_1 \sin (d_1 - d_2) \} \end{aligned} \right) \quad (27)$$

として $\zeta$ を求め、再び(25),(24),(27)式の順に計算し、先に計算した $\zeta$ と希望の精度で一致するまで上記の計算をくり返します。このようにして得られた $\zeta$ 、 $\eta_1$ 、 $\zeta_1$ を(7)式に代入して、南北限界線の位置を求めることができます。

## 6. 太陽高度の計算

中心線上における太陽高度の計算は、小数点第1位まで正確に計算を行ないたかったので、局地予報の計算プログラムと同じ理由(日食情報1983. Ⅷ3. 参照)によって、今回のプログラムでも、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、太陽の赤経・赤緯を求め、中心線上の位置における高度・方位角に変換しています。

## 7. 計算結果の出力

2～7までの計算を行なうことによって、観測に必要な、皆既もしくは金環日食帯の表を作るためのデータがそろいます。あとは計算結果を出力すればよいのですが、そのまま出力してしまうと、場合によっては出力フォーマットが乱れることがあるので注意が必要です。

通常、本影の限界線は南北に2本現れますが、場合によっては、そのどちらかが存在しない日食もあります。また、ひとつの日食のなかにおいても、ある時刻においては、中心線が存在しない場合や、1987年3月29日の金環・皆既日食のように、はじめは金環日食として始まり、途中から皆既日食となる場合もありますので、このような状態にも適応できるような出力プログラムを組まなくてはなりません。

出力結果を図1～図3に示しますが、使用していたプリンターが80桁モードという関係もあって、経緯度は10進法で出力しています。

## 8. プログラムの実行と精度に関して

いままで述べてきたような処理を行なうことによって、皆既日食帯あるいは金環日食帯の計算をおこなうことができます。実際のプログラムの実行に関しては、まずプログラムをロードし、計算を行ないたい日食の Opplzer の日食番号を入力し、リターンキーを押せば、あとの計算は全てコンピューターが処理しますので、きわめて短時間に計算を終了することができます。

これまで述べてきたように、日食帯の計算は、そのほとんどが近似計算ですから、仮にある時刻の中心線、継続時刻、南北限界線を私が使用しているカシオ fx-140 電卓を使って手計算を行なうと約4時間、これに太陽の高度・方位を6で説明した方法で計算すると、さらに約2時間を費やすことになります。従って日食帯の始めから終わりまでを10分間隔で計算したとしても、相当な労力と時間を必要とすることが簡単に理解できると思います。なお、PC-9800でこのプログラムを実行した場合は、ある時刻の太陽の高度も含めた前述の計算に要する時間は1秒程度となります。

また、計算された精度に関しては、1983年6月11日の日食の例に、天体位置表に掲

載された皆既日食帯と比較したところ、中心線及び南北限界線の始めと終りの時刻に関しては0秒、位置に関しては経度・緯度とも最大±2秒、その他の時刻に関する位置に関してはどのデータも最大で±1秒で、大部分は全術一致していますので、観測に用いる資料としては十分な精度であると思われます。(プログラムは、世界時系・暦表時系のどちらでも計算が可能で、暦表時系の場合は経度も暦表経度で示されます)。ただし、同一の日食でもUSNOサーキュラから発表されるデータと比較した場合は、ベッセル要素及び計算に採用される諸パラメータのちがいで、天体位置表のベッセル要素多項式から計算する日食帯の方が、本影の幅が若干狭いようです(皆既日食の場合のみ調査)

今回紹介した皆既・金環日食帯の計算プログラムは、今まで紹介してきた局地予報計算プログラム、日食状況のディスプレイプログラムなどと密接な関係があって、近いうちにこれらのプログラムをリンクして、日食中心線上におけぬ局地予報を自動的に行なえるようにしたいと考えております。

最後になりましたが、コンピューターの威力は確かにすばらしいものであり、観測の資料作りに多いに役立てることが出来ます。しかし、今後この方面に進まれる方は、いきなり理論からプログラムを組む前に、計算の流れや、条件判断などの処理を理解する意味においても、少なくとも数回は、手計算で計算を行なってみることをお勧めします。

(つづく)

[表1] 1984年5月30日の金環日食帯、 $\Delta T = 54$ 秒として計算

PATH OF ANNULAR PHASE DURING THE ECLIPSE OF THE SUN 1984年 5月30日

time of first and last contact of the umbra  
 beginning 14 h 57 m 28 s UT end 18 h 32 m 0 s UT  
 time of extreme point of northern limit of the umbra  
 beginning 14 h 57 m 43 s UT end 18 h 31 m 46 s UT  
 time of extreme point of southern limit of the umbra  
 beginning 14 h 57 m 13 s UT end 18 h 32 m 14 s UT

U T	Northern Limit		Central Line		dur	alt	Southern Limit	
	longitude	latitude	longitude	latitude			longitude	latitude
	h	m	°	°		S	°	°
begin	135.7679	1.7979	135.5907	1.5160	***	****	135.4138	1.2347
15 0	125.7834	6.2888	125.1866	6.2881	57	12.0	124.6200	6.2809
5	118.7673	10.1276	118.4348	10.0587	51	20.7	118.1083	9.9902
10	114.3343	12.8682	114.0878	12.7894	47	26.8	113.8442	12.7117
15	110.9008	15.1559	110.7032	15.0770	43	31.8	110.5072	14.9990
20	108.0251	17.1731	107.8607	17.0970	39	36.1	107.6974	17.0217
25	105.5077	19.0027	105.3681	18.9305	36	40.0	105.2294	18.8590
30	103.2380	20.6906	103.1182	20.6226	33	43.6	102.9988	20.5553
35	101.1470	22.2652	101.0432	22.2015	31	46.9	100.9399	22.1384
40	99.1877	23.7455	99.0974	23.6861	28	50.0	99.0075	23.6272
45	97.3264	25.1449	97.2476	25.0895	26	52.9	97.1691	25.0346
50	95.5375	26.4730	95.4686	26.4215	24	55.7	95.3999	26.3703
55	93.8011	27.7370	93.7408	27.6890	22	58.3	93.6806	27.6414
16 0	92.1009	28.9421	92.0481	28.8975	20	60.8	91.9953	28.8532
5	90.4235	30.0926	90.3771	30.0510	18	63.2	90.3309	30.0098
10	88.7573	31.1913	88.7166	31.1525	17	65.4	88.6759	31.1140
15	87.0922	32.2405	87.0564	32.2042	16	67.4	87.0206	32.1680
20	85.4192	33.2418	85.3877	33.2076	15	69.2	85.3561	33.1735
25	83.7303	34.1960	83.7024	34.1636	14	70.8	83.6745	34.1312
30	82.0181	35.1038	81.9933	35.0727	13	72.1	81.9685	35.0417
35	80.2754	35.9650	80.2532	35.9349	12	73.0	80.2311	35.9050
40	78.4957	36.7794	78.4758	36.7499	12	73.6	78.4559	36.7205
45	76.6727	37.5462	76.6547	37.5168	11	73.8	76.6368	37.4876
50	74.8002	38.2642	74.7839	38.2346	11	73.6	74.7677	38.2050
55	72.8722	38.9320	72.8575	38.9016	11	72.9	72.8428	38.8712
17 0	70.8828	39.5476	70.8695	39.5159	12	71.9	70.8563	39.4842
5	68.8259	40.1088	68.8142	40.0752	12	70.6	68.8025	40.0416
10	66.6955	40.6128	66.6855	40.5767	13	68.9	66.6755	40.5408
15	64.4852	41.0564	64.4772	41.0173	14	67.1	64.4692	40.9784
20	62.1883	41.4359	62.1828	41.3932	15	65.1	62.1773	41.3506
25	59.7976	41.7469	59.7952	41.6999	16	62.9	59.7928	41.6531
30	57.3049	41.9842	57.3066	41.9324	17	60.5	57.3082	41.8807
35	54.7010	42.1420	54.7078	42.0847	19	58.0	54.7147	42.0275
40	51.9748	42.2130	51.9882	42.1495	21	55.4	52.0017	42.0863
45	49.1126	42.1885	49.1345	42.1183	22	52.6	49.1564	42.0484
50	46.0970	42.0580	46.1296	41.9805	25	49.6	46.1622	41.9034
17 55	42.9049	41.8077	42.9511	41.7226	27	46.5	42.9971	41.6378
18 0	39.5041	41.4200	39.5676	41.3268	29	43.2	39.6307	41.2341
5	35.8477	40.8703	35.9334	40.7690	32	39.6	36.0185	40.6682
10	31.8636	40.1226	31.9785	40.0135	35	35.6	32.0924	39.9051
15	27.4311	39.1200	27.5860	39.0045	38	31.3	27.7391	38.8896
20	22.3232	37.7595	22.5374	37.6413	42	26.2	22.7483	37.5237
25	16.0108	35.8101	16.3305	35.7014	47	20.0	16.6429	35.5927
30	6.3721	32.3764	7.0450	32.3622	53	10.7	7.6751	32.3368
end	- 3.9301	28.3017	- 3.7375	28.0496	***	****	- 3.5462	27.7980

[表2] 1984年11月22~23日の皆既日食帯、 $\Delta T = 5.4$ 秒

PATH OF TOTAL PHASE DURING THE ECLIPSE OF THE SUN 1984年11月22日

time of first and last contact of the umbra  
 beginning 21 h 12 m 52 s UT end 0 h 33 m 42 s UT  
 time of extreme point of northern limit of the umbra  
 beginning 21 h 12 m 46 s UT end 0 h 33 m 47 s UT  
 time of extreme point of southern limit of the umbra  
 beginning 21 h 12 m 58 s UT end 0 h 33 m 37 s UT

U T	Northern Limit		Central Line		dur	alt	Southern Limit	
	longitude	latitude	longitude	latitude			longitude	latitude
h m	°	°	°	°	s	°	°	
begin	-128.2150	-0.4690	-128.1470	-0.5843	***	****	-128.0790	-0.6994
21 15	-138.4816	-4.8173	-138.0376	-4.8178	38	11.2	-137.5870	-4.8119
20	-145.7364	-8.6847	-145.3799	-8.7588	51	20.6	-145.0215	-8.8293
25	-150.2901	-11.4914	-149.9501	-11.5990	59	26.9	-149.6086	-11.7035
30	-153.8043	-13.8632	-153.4694	-13.9946	67	32.0	-153.1332	-14.1232
35	-156.7399	-15.9761	-156.4066	-16.1268	73	36.5	-156.0720	-16.2748
40	-159.3047	-17.9097	-158.9718	-18.0772	79	40.5	-158.6375	-18.2421
45	-161.6140	-19.7084	-161.2811	-19.8909	85	44.1	-160.9468	-20.0710
50	-163.7400	-21.3996	-163.4074	-21.5960	89	47.5	-163.0732	-21.7900
55	-165.7320	-23.0017	-165.4001	-23.2111	94	50.6	-165.0665	-23.4182
22 0	-167.6258	-24.5275	-167.2951	-24.7492	98	53.6	-166.9628	-24.9688
5	-169.4484	-25.9864	-169.1198	-26.2199	102	56.3	-168.7894	-26.4514
10	-171.2214	-27.3852	-170.8957	-27.6300	105	58.9	-170.5683	-27.8730
15	-172.9626	-28.7291	-172.6408	-28.9849	108	61.3	-172.3172	-29.2390
20	-174.6870	-30.0219	-174.3702	-30.2883	111	63.5	-174.0515	-30.5532
25	-176.4077	-31.2665	-176.0970	-31.5431	113	65.6	-175.7845	-31.8185
30	-178.1365	-32.4648	-177.8333	-32.7514	115	67.4	-177.5282	-33.0367
35	-179.8840	-33.6181	-179.5896	-33.9142	117	68.9	-179.2934	-34.2093
40	178.3396	-34.7272	178.6237	-35.0324	118	70.1	178.9094	-35.3368
45	176.5248	-35.7921	176.7969	-36.1060	119	71.0	177.0706	-36.4191
50	174.6623	-36.8125	174.9207	-37.1345	119	71.5	175.1805	-37.4559
55	172.7429	-37.7876	172.9858	-38.1170	120	71.5	173.2299	-38.4460
23 0	170.7575	-38.7158	170.9829	-39.0521	119	71.1	171.2093	-39.3880
5	168.6969	-39.5954	168.9028	-39.9376	119	70.4	169.1094	-40.2796
10	166.5517	-40.4239	166.7361	-40.7711	118	69.3	166.9207	-41.1181
15	164.3122	-41.1982	164.4728	-41.5493	116	67.8	164.6333	-41.9004
20	161.9682	-41.9148	162.1029	-42.2685	114	66.1	162.2370	-42.6223
25	159.5089	-42.5691	159.6156	-42.9241	112	64.1	159.7211	-43.2791
30	156.9228	-43.1559	156.9993	-43.5105	110	62.0	157.0740	-43.8652
35	154.1971	-43.6689	154.2415	-44.0214	107	59.6	154.2834	-44.3738
40	151.3177	-44.1005	151.3281	-44.4488	103	57.1	151.3354	-44.7970
45	148.2681	-44.4418	148.2429	-44.7836	99	54.4	148.2140	-45.1252
50	145.0286	-44.6816	144.9666	-45.0144	95	51.5	144.9003	-45.3468
55	141.5750	-44.8061	141.4753	-45.1271	90	48.4	141.3706	-45.4473
0 0	137.8752	-44.7977	137.7373	-45.1035	85	45.1	137.5939	-45.4084
5	133.8852	-44.6329	133.7090	-44.9199	80	41.6	133.5270	-45.2056
h m	°	°	°	°	s	°	°	
0 10	129.5401	-44.2788	129.3259	-44.5428	73	37.7	129.1058	-44.8050
15	124.7361	-43.6862	124.4844	-43.9218	67	33.5	124.2267	-44.1551
20	119.2888	-42.7724	118.9993	-42.9724	59	28.6	118.7039	-43.1695
25	112.8100	-41.3729	112.4783	-41.5257	50	22.7	112.1411	-41.6749
30	104.1452	-39.0221	103.7425	-39.0990	39	14.8	103.3336	-39.1706
end	87.7235	-33.3822	87.6506	-33.4756	***	****	87.5776	-33.5693



[表3] 1987年3月29日の金環、皆既日食帯  $\Delta T = 57$  秒を仮定  
dur (継続時間) の項において、数字のあとの\* (アスタリスク) は皆既食で  
あることを示す。他は金環食

ANNULAR OR TOTAL PHASE DURING THE ECLIPSE OF THE SUN 1987年 3月 29日

time of first and last contact of the umbra  
beginning 11 h 4 m 43 s UT end 14 h 33 m 8 s UT  
time of extreme point of northern limit of the umbra  
beginning 11 h 4 m 36 s UT end 14 h 33 m 16 s UT  
time of extreme point of southern limit of the umbra  
beginning 11 h 4 m 51 s UT end 14 h 32 m 59 s UT

U T	Northern Limit		Central Line		dur	alt	Southern Limit	
	longitude	latitude	longitude	latitude			longitude	latitude
h m	°	°	°	°	S	°	°	
begin	71.4542	-46.5681	71.4575	-46.7986	***	****	71.4607	-47.0294
11 10	48.3780	-43.3529	48.4374	-43.5188	37	17.4	48.4987	-43.6863
15	40.7137	-41.1826	40.7074	-41.3042	31	24.3	40.7009	-41.4264
20	35.3091	-39.1921	35.2835	-39.2845	26	29.7	35.2576	-39.3771
25	31.0922	-37.3156	31.0617	-37.3863	21	34.3	31.0309	-37.4572
30	27.6296	-35.5235	27.6000	-35.5775	18	38.4	27.5701	-35.6315
35	24.6938	-33.7987	24.6677	-33.8394	14	42.1	24.6413	-33.8800
40	22.1478	-32.1300	22.1262	-32.1598	11	45.5	22.1046	-32.1895
45	19.9012	-30.5091	19.8847	-30.5299	8	48.7	19.8681	-30.5508
50	17.8910	-28.9298	17.8795	-28.9433	5	51.7	17.8680	-28.9568
55	16.0709	-27.3873	16.0642	-27.3947	3	54.5	16.0575	-27.4021
12 0	14.4056	-25.8775	14.4034	-25.8799	1	57.1	14.4011	-25.8823
5	12.8711	-24.3937	12.8693	-24.3955	1*	59.6	12.8676	-24.3973
10	11.4452	-22.9333	11.4399	-22.9385	2*	62.0	11.4346	-22.9437
15	10.1051	-21.4985	10.0967	-21.5065	4*	64.1	10.0882	-21.5145
20	8.8353	-20.0870	8.8243	-20.0973	5*	66.1	8.8132	-20.1075
25	7.6227	-18.6971	7.6096	-18.7090	6*	67.9	7.5964	-18.7209
30	6.4558	-17.3269	6.4410	-17.3401	7*	69.4	6.4262	-17.3532
35	5.3242	-15.9749	5.3082	-15.9890	7*	70.6	5.2923	-16.0030
40	4.2187	-14.6400	4.2020	-14.6545	8*	71.5	4.1853	-14.6690
45	3.1306	-13.3210	3.1136	-13.3355	8*	72.0	3.0967	-13.3500
50	2.0516	-12.0167	2.0349	-12.0310	7*	72.1	2.0182	-12.0452
55	0.9739	-10.7265	0.9579	-10.7401	7*	71.9	0.9420	-10.7536
13 0	- 0.1103	- 9.4494	- 0.1251	- 9.4620	7*	71.2	- 0.1398	- 9.4745
5	- 1.2089	- 8.1848	- 1.2219	- 8.1960	6*	70.1	- 1.2350	- 8.2071
10	- 2.3299	- 6.9323	- 2.3407	- 6.9416	5*	68.8	- 2.3516	- 6.9508
15	- 3.4818	- 5.6913	- 3.4899	- 5.6983	4*	67.2	- 3.4981	- 5.7052
20	- 4.6737	- 4.4615	- 4.6786	- 4.4657	2*	65.3	- 4.6835	- 4.4699
25	- 5.9157	- 3.2427	- 5.9168	- 3.2436	0*	63.3	- 5.9179	- 3.2445
30	- 7.2122	- 2.0289	- 7.2156	- 2.0318	1	61.0	- 7.2190	- 2.0348
35	- 8.5793	- 0.8230	- 8.5878	- 0.8304	4	58.6	- 8.5963	- 0.8380
40	- 10.0342	0.3731	- 10.0485	0.3604	6	56.1	- 10.0628	0.3476
45	- 11.5947	1.5591	- 11.6156	1.5403	8	53.4	- 11.6365	1.5213
50	- 13.2828	2.7343	- 13.3113	2.7085	11	50.5	- 13.3398	2.6824
55	- 15.1268	3.8979	- 15.1639	3.8639	14	47.4	- 15.2010	3.8295
14 0	- 17.1633	5.0484	- 17.2104	5.0048	18	44.1	- 17.2576	4.9607
h m	°	°	°	°	S	°	°	
14 5	- 19.4431	6.1834	- 19.5020	6.1286	21	40.6	- 19.5608	6.0732
10	- 22.0395	7.2995	- 22.1126	7.2313	25	36.7	- 22.1856	7.1625
15	- 25.0672	8.3906	- 25.1583	8.3064	29	32.5	- 25.2494	8.2212
20	- 28.7257	9.4461	- 28.8419	9.3418	34	27.6	- 28.9582	9.2363
25	- 33.4318	10.4432	- 33.5895	10.3123	39	21.6	- 33.7479	10.1797
30	- 40.4636	11.3120	- 40.7313	11.1386	46	13.4	- 41.0042	10.9622
end	- 53.5800	11.4161	- 53.5985	11.1601	***	****	- 53.6171	10.9038

Local circumstances of annular solar eclipse 1984年5月30日  
 Central line at 15 h30 m UT  
 longitude 103 d 7 m 6 s, latitude 20 d 37 m 21 s, height 0 m

1984年5月30日の金環日食に  
 おける局地予報

1984年5月30日の金環日食に  
 おいて、アメリカ大陸を横切る日食帯  
 の4点を選んで局地予報を行ないまし  
 た ( $\Delta T = 5.4$  秒を仮定)。

ハワイ南東の太平洋上で始まるこの  
 金環日食帯は、メキシコに上陸し、そ  
 の後、メキシコ湾に出て再びアメリカ  
 合衆国に上陸します。すなわち北アメ  
 リカ大陸を2度横切ることになるわけ  
 ですが、今回の予報では前述の両端点  
 を選びました。従って、北アメリカ大  
 陸の日食帯において見られる金環日食  
 は、このうちのどれかに近い形になる  
 と思われます。

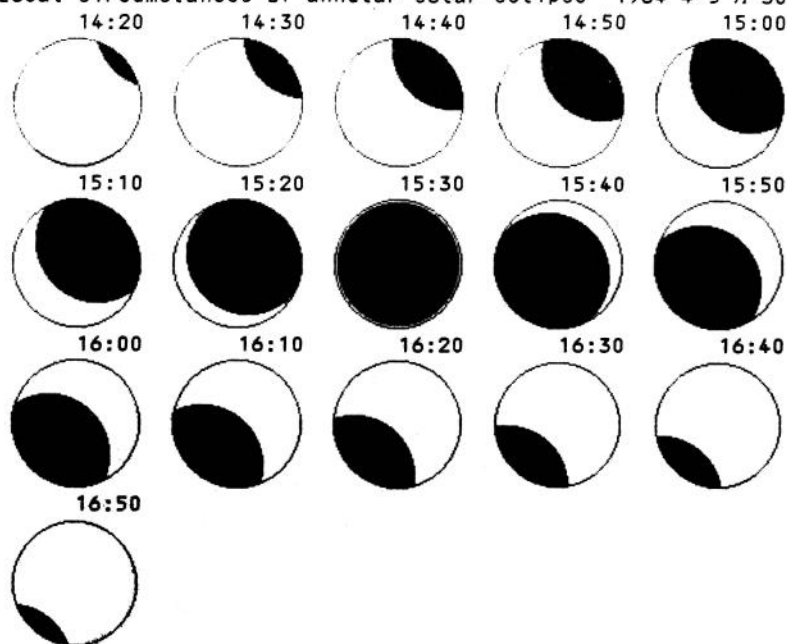
\*\*\* annular solar eclipse \*\*\*  
 contact time (UT)

	h	m	s	Q	C	V	D	sd	hi	az
first contact	14	16	34	241.8	282.9	319.0	0.000	0.2754	26.83	75.21
second contact	15	29	43	60.7	278.2	142.5	0.993	0.2742	43.52	78.97
third contact	15	30	17	240.8	278.2	322.6	0.993	0.2742	43.64	79.00
fourth contact	16	55	38	60.1	272.7	147.5	0.000	0.2731	63.35	82.10
maximum	15	30	0	146.9	278.2	228.7	0.997	0.2742	43.58	78.98

duration 0 m 33 s

UT	h	m	v	Q	C	V	D	sd	hi	az
14	20	-0.459576	-0.246614	241.8	282.6	319.2	0.050	0.2753	27.61	75.40
30	-0.389279	-0.210396	241.6	282.0	319.7	0.193	0.2752	29.88	75.96	
40	-0.320591	-0.174464	241.4	281.3	320.1	0.333	0.2750	32.15	76.51	
50	-0.253479	-0.138845	241.3	280.7	320.6	0.471	0.2748	34.43	77.04	
15	0	-0.187905	-0.103565	241.1	280.0	321.1	0.606	0.2747	36.71	77.55
10	-0.123830	-0.068648	241.0	279.4	321.6	0.739	0.2745	39.00	78.04	
20	-0.061209	-0.034118	240.9	278.8	322.1	0.869	0.2744	41.29	78.52	
30	0.000002	0.000001	70.3	278.2	152.2	0.997	0.2742	43.58	78.98	
40	0.059853	0.033686	60.6	277.5	143.1	0.872	0.2741	45.88	79.43	
50	0.118394	0.066916	60.5	276.9	143.6	0.749	0.2739	48.18	79.86	
16	0	0.175678	0.099670	60.4	276.3	144.1	0.629	0.2738	50.49	80.26
10	0.231763	0.131927	60.3	275.7	144.7	0.511	0.2737	52.79	80.65	
20	0.286705	0.163669	60.3	275.1	145.2	0.396	0.2735	55.10	81.02	
30	0.340566	0.194876	60.2	274.4	145.8	0.282	0.2734	57.42	81.36	
40	0.393408	0.225533	60.2	273.7	146.4	0.171	0.2733	59.73	81.68	
50	0.445296	0.255622	60.1	273.1	147.1	0.061	0.2732	62.05	81.96	

Local circumstances of annular solar eclipse 1984 年 5 月 30 日



annular eclipse

Long =  $103^{\circ} 7' 6''$   
 Lat =  $20^{\circ} 37' 21''$   
 hi = 0 m

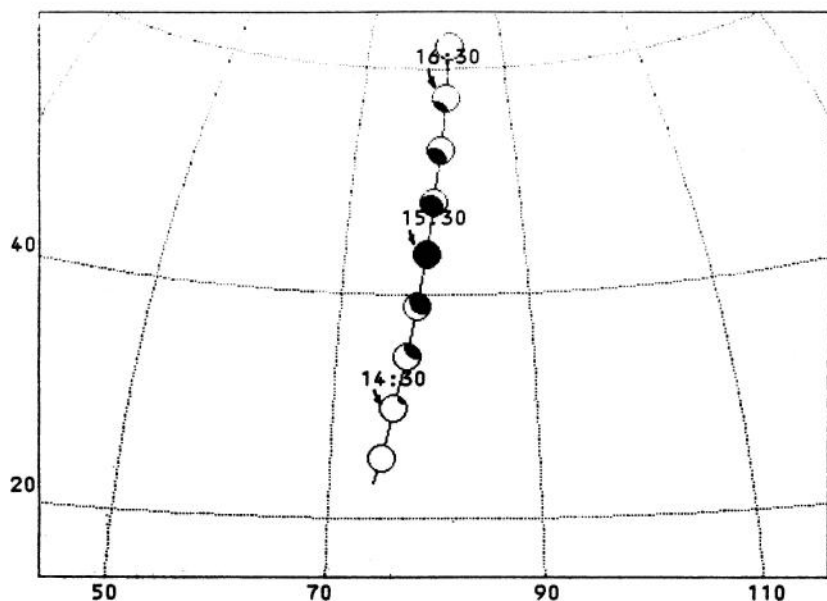
\* CONTACT TIME \*

1st = 14:16:34  
 2nd = 15:29:43  
 3rd = 15:30:17  
 4th = 16:55:38  
 max = 15:30:0

dur = 0:33

max.mag 0.997

Local circumstances of annular solar eclipse 1984 年 5 月 30 日



annular eclipse

Long =  $103^{\circ} 7' 6''$   
 Lat =  $20^{\circ} 37' 21''$   
 hi = 0 m

\* CONTACT TIME \*

1st = 14:16:34  
 2nd = 15:29:43  
 3rd = 15:30:17  
 4th = 16:55:38  
 max = 15:30:0

dur = 0:33

max.mag 0.997

Local circumstances of annular solar eclipse 1984 # 5 月 30 日  
 Central line at 15 h 40 m UT  
 longitude 99 d 5 m 51 s , latitude 23 d 41 m 10 s , height 0 m

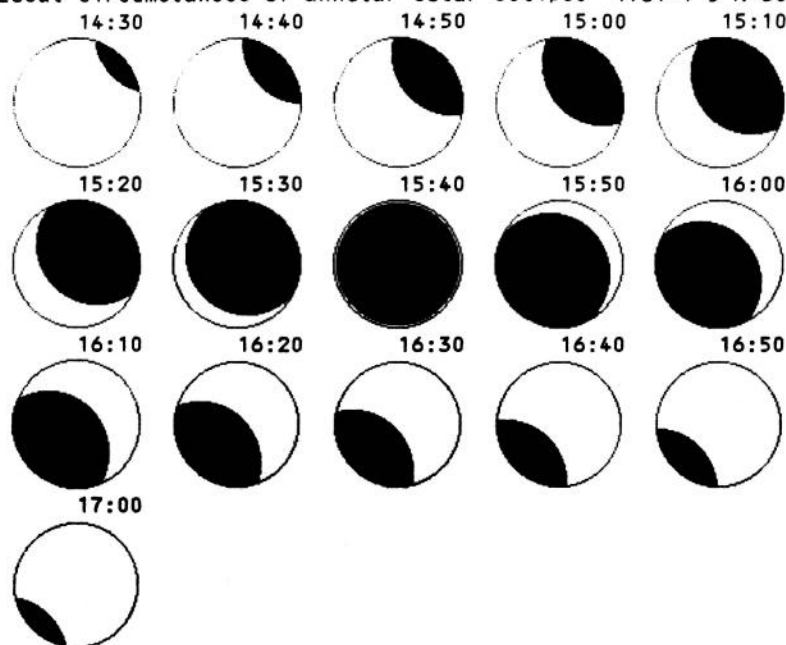
\*\*\* annular solar eclipse \*\*\*  
 contact time (UT)

	h	m	s	Q	C	V	D	sd	hl	az
first contact	14	23	17	241.5	284.9	316.6	0.000	0.2750	32.67	78.37
second contact	15	39	46	60.6	281.3	139.4	0.994	0.2739	49.96	83.68
third contact	15	40	14	240.7	281.2	319.4	0.994	0.2738	50.07	83.72
fourth contact	17	9	22	60.5	279.4	141.1	0.000	0.2729	70.43	91.12
maximum	15	40	0	146.9	281.3	225.7	0.997	0.2739	50.01	83.70

duration 0 m 28 s

U T	h	U	v	Q	C	V	D	sd	hl	az
14	30	-0.436649	-0.237945	241.4	284.5	316.9	0.093	0.2749	34.18	78.84
40	-0.370045	-0.202799	241.3	284.0	317.3	0.229	0.229	0.2747	36.43	79.54
50	-0.304922	-0.167999	241.1	283.5	317.7	0.363	0.363	0.2746	38.68	80.24
15	0	-0.241240	-0.133569	241.0	283.0	318.0	0.495	0.2744	40.94	80.93
10	-0.178954	-0.099532	240.9	282.5	318.4	0.624	0.624	0.2743	43.20	81.62
20	-0.118019	-0.065910	240.8	282.1	318.7	0.751	0.751	0.2741	45.47	82.31
30	-0.058384	-0.032726	240.7	281.7	319.1	0.875	0.875	0.2740	47.74	83.00
40	0.000000	-0.000001	143.7	281.3	222.4	0.997	0.997	0.2739	50.01	83.70
50	0.057189	0.032247	60.6	280.9	139.7	0.878	0.878	0.2737	52.29	84.41
16	0	0.113239	0.063997	60.5	280.5	140.0	0.761	0.2736	54.57	85.13
10	0.168207	0.095231	60.5	280.2	140.3	0.645	0.645	0.2735	56.85	85.87
20	0.222154	0.125932	60.5	279.9	140.5	0.532	0.532	0.2734	59.14	86.63
30	0.275142	0.156084	60.4	279.7	140.8	0.421	0.421	0.2733	61.42	87.43
40	0.327236	0.185671	60.4	279.5	140.9	0.311	0.311	0.2731	63.71	88.26
50	0.378502	0.214680	60.4	279.4	141.1	0.204	0.204	0.2730	66.00	89.15
17	0	0.429006	0.243097	60.5	279.3	141.1	0.098	0.2730	68.29	90.12

Local circumstances of annular solar eclipse 1984 年 5 月 30 日



annular eclipse

Long = 99° 5' 51"  
 Lat = 23° 41' 10"  
 hi = 0 m

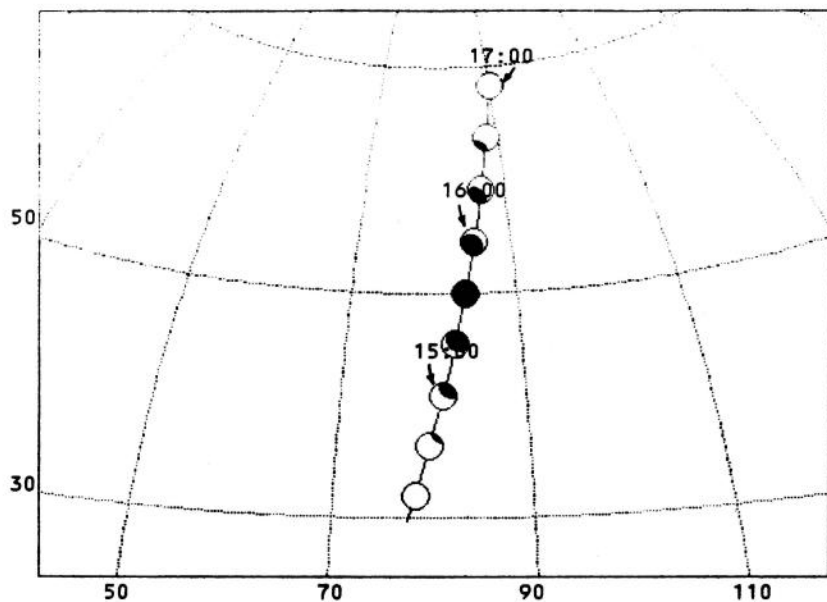
\* CONTACT TIME \*

1st = 14:23:17  
 2nd = 15:39:46  
 3rd = 15:40:14  
 4th = 17: 9:22  
 max = 15:40: 0

dur = 0:28

max.mag 0.997

Local circumstances of annular solar eclipse 1984 年 5 月 30 日



annular eclipse

Long = 99° 5' 51"  
 Lat = 23° 41' 10"  
 hi = 0 m

\* CONTACT TIME \*

1st = 14:23:17  
 2nd = 15:39:46  
 3rd = 15:40:14  
 4th = 17: 9:22  
 max = 15:40: 0

dur = 0:28

max.mag 0.997

Local circumstances of annular solar eclipse 1984 年 5 月 30 日

Central line at 16 h 10 m UT

longitude 88 d 43 m 0 s , latitude 31 d 9 m 9 s , height 0 m

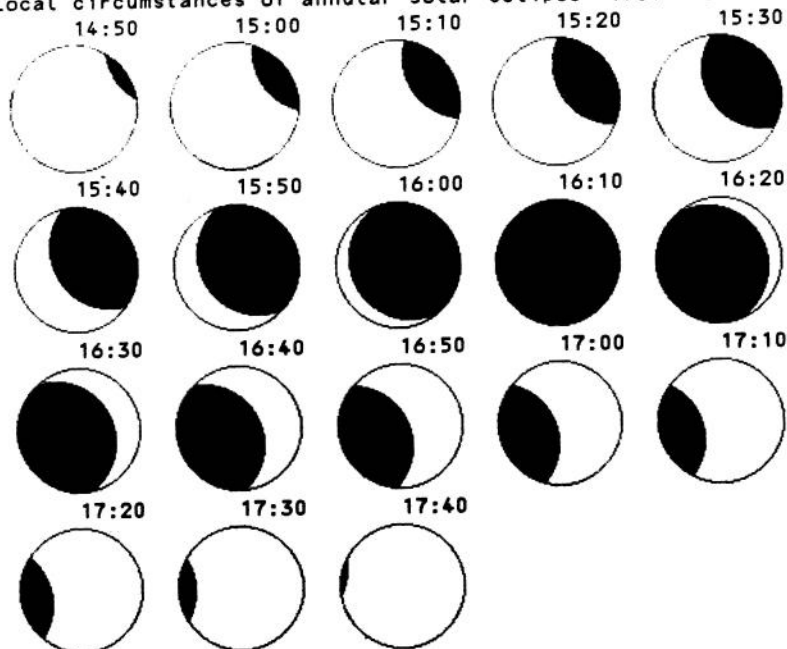
\*\*\* annular solar eclipse \*\*\*  
contact time (UT)

	h	m	s	Q	C	V	D	sd	hi	az
first contact	14	45	0	241.8	292.8	309.0	0.000	0.2741	47.37	90.82
second contact	16	9	52	61.9	297.5	124.5	0.997	0.2731	65.32	105.86
third contact	16	10	8	242.0	297.5	304.5	0.997	0.2731	65.38	105.93
fourth contact	17	46	14	63.4	351.8	71.6	0.000	0.2726	80.62	171.12
maximum	16	10	0	153.4	297.5	215.8	0.998	0.2731	65.35	105.89

duration 0 m 17 s

U T	h	U	V	Q	C	V	D	sd	hi	az
14 50	-0.452371	-0.242518	241.8	292.8	309.0	0.063	0.2740	48.44	91.49	
15 0	-0.392329	-0.210511	241.8	292.9	308.8	0.186	0.2739	50.58	92.88	
10	-0.333397	-0.178954	241.8	293.2	308.6	0.308	0.2738	52.71	94.34	
20	-0.275520	-0.147865	241.8	293.5	308.3	0.428	0.2736	54.84	95.89	
30	-0.218646	-0.117261	241.8	293.9	307.9	0.545	0.2735	56.97	97.56	
40	-0.162715	-0.087158	241.8	294.5	307.3	0.661	0.2734	59.09	99.35	
50	-0.107671	-0.057571	241.9	295.3	306.6	0.775	0.2733	61.19	101.31	
16 0	-0.053453	-0.028514	241.9	296.3	305.7	0.888	0.2732	63.28	103.48	
10	0.000002	0.000000	84.4	297.5	146.9	0.998	0.2731	65.35	105.90	
20	0.052755	0.027959	62.1	299.1	123.0	0.890	0.2731	67.39	108.64	
30	0.104873	0.055352	62.2	301.1	121.1	0.782	0.2730	69.40	111.80	
40	0.156420	0.082168	62.3	303.7	118.6	0.676	0.2729	71.36	115.49	
50	0.207464	0.108399	62.4	306.9	115.5	0.571	0.2728	73.26	119.90	
17 0	0.258072	0.134038	62.6	311.1	111.4	0.467	0.2728	75.06	125.26	
10	0.308314	0.159076	62.7	316.6	106.1	0.365	0.2727	76.74	131.86	
20	0.358258	0.183510	62.9	323.7	99.2	0.263	0.2727	78.23	140.08	
30	0.407975	0.207334	63.1	332.8	90.3	0.162	0.2726	79.45	150.28	
40	0.457535	0.230545	63.3	344.0	79.3	0.062	0.2726	80.32	162.58	

Local circumstances of annular solar eclipse 1984 年 5 月 30 日



annular eclipse

Long =  $88^{\circ}43' 0''$   
 Lat =  $31^{\circ} 9' 9''$   
 hi = 0 m

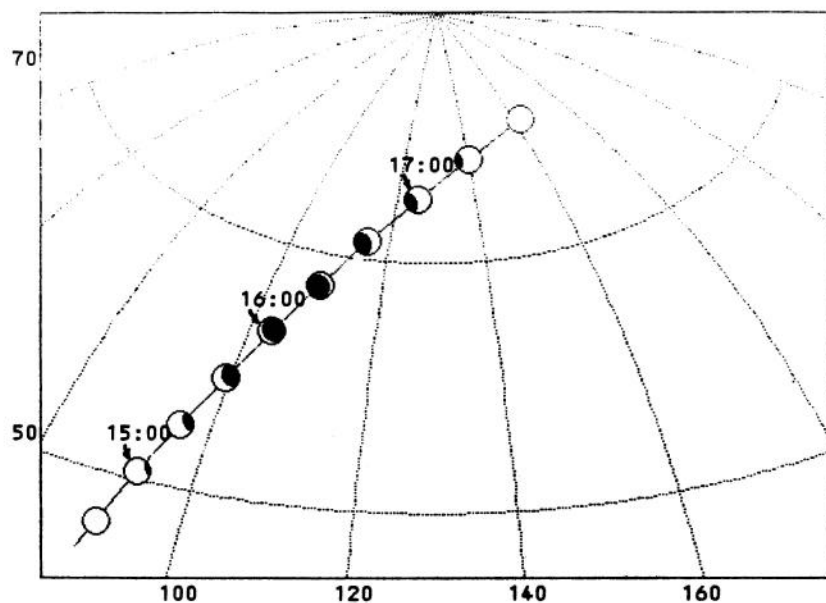
\* CONTACT TIME \*

1st = 14:45: 0  
 2nd = 16: 9:52  
 3rd = 16:10: 8  
 4th = 17:46:14  
 max = 16:10: 0

dur = 0:17

max.mag 0.998

Local circumstances of annular solar eclipse 1984 年 5 月 30 日



annular eclipse

Long =  $88^{\circ}43' 0''$   
 Lat =  $31^{\circ} 9' 9''$   
 hi = 0 m

\* CONTACT TIME \*

1st = 14:45: 0  
 2nd = 16: 9:52  
 3rd = 16:10: 8  
 4th = 17:46:14  
 max = 16:10: 0

dur = 0:17

max.mag 0.998

Local circumstances of annular solar eclipse 1984 年 5 月 30 日  
 Central line at 16 h 40 m UT  
 longitude 78 d 28 m 33 s , latitude 36 d 45 m 0 s , height 0 m

\*\*\* annular solar eclipse \*\*\*  
 contact time (UT)

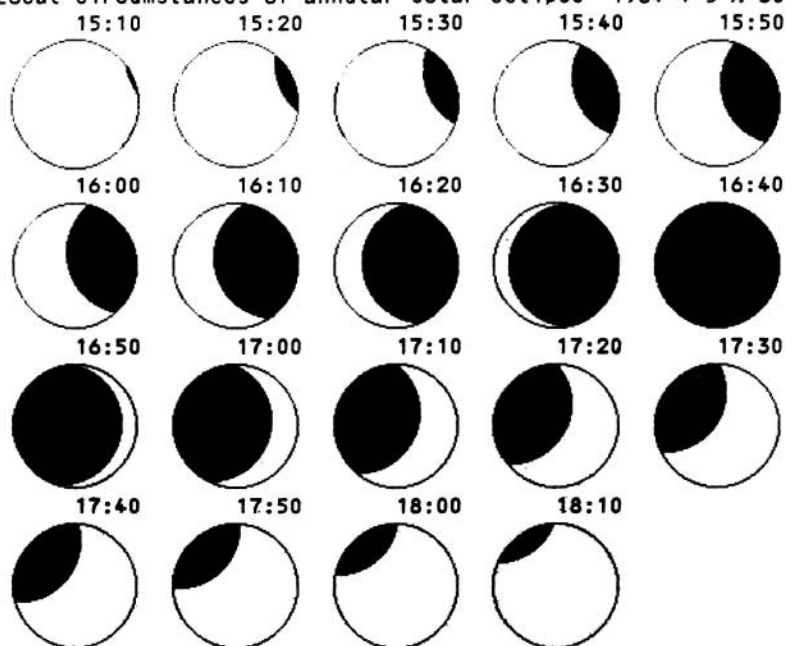
	h	m	s	Q	C	V	D	sd	hi	az
first contact	15	9	0	243.8	306.2	297.7	0.000	0.2735	59.63	110.80
second contact	16	39	54	65.1	337.0	88.1	0.998	0.2729	73.62	153.14
third contact	16	40	6	245.4	337.2	268.3	0.998	0.2729	73.64	153.28
fourth contact	18	17	1	67.9	40.1	27.8	0.000	0.2727	69.44	228.19
maximum	16	40	0	156.4	337.1	179.3	0.999	0.2729	73.63	153.21

duration 0 m 12 s

U T	u	v	Q	C	V	D	sd	hi	az	
15	10	-0.485369	-0.238287	243.9	306.3	297.5	0.012	0.2734	59.81	111.07
20	-0.429174	-0.209680	244.0	307.9	296.1	0.127	0.2734	61.67	113.94	
30	-0.373687	-0.181583	244.1	309.8	294.3	0.240	0.2733	63.47	117.09	
40	-0.318850	-0.154007	244.2	312.0	292.2	0.352	0.2732	65.23	120.60	
50	-0.264602	-0.126963	244.4	314.7	289.7	0.463	0.2731	66.92	124.52	
16	0	-0.210881	-0.100459	244.5	317.8	286.7	0.572	0.2731	68.53	128.94
10	-0.157624	-0.074504	244.7	321.6	283.1	0.680	0.2730	70.03	133.94	
20	-0.104768	-0.049106	244.9	326.0	278.9	0.787	0.2729	71.40	139.61	
30	-0.052248	-0.024270	245.1	331.1	273.9	0.894	0.2729	72.61	146.02	
40	0.000000	-0.000001	168.5	337.1	191.4	0.999	0.2729	73.63	153.21	
50	0.052043	0.023696	65.5	343.8	81.7	0.895	0.2728	74.41	161.15	
17	0	0.103947	0.046818	65.8	351.1	74.6	0.791	0.2728	74.91	169.72
10	0.155776	0.069364	66.0	358.9	67.1	0.687	0.2728	75.12	178.67	
20	0.207599	0.091333	66.3	6.6	59.6	0.584	0.2727	75.01	187.67	
30	0.259482	0.112725	66.5	14.1	52.4	0.482	0.2727	74.59	196.38	
40	0.311490	0.133541	66.8	21.0	45.8	0.379	0.2727	73.89	204.53	
50	0.363690	0.153785	67.1	27.2	39.9	0.277	0.2727	72.94	211.96	
18	0	0.416148	0.173458	67.4	32.6	34.8	0.175	0.2727	71.79	218.60
10	0.468928	0.192566	67.7	37.2	30.4	0.072	0.2727	70.46	224.48	



Local circumstances of annular solar eclipse 1984 年 5 月 30 日



annular eclipse

Long = 78°28'33"  
 Lat = 36°45' 0"  
 hi = 0 m

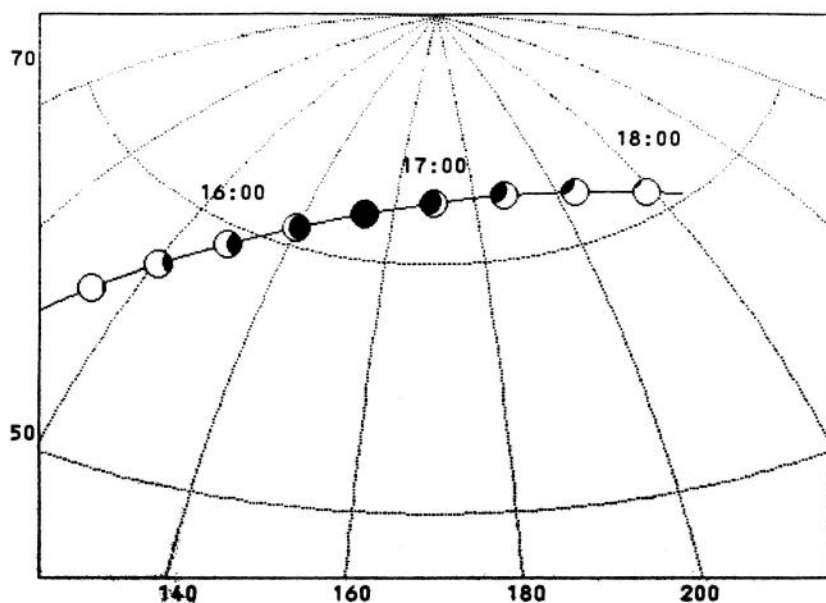
\* CONTACT TIME \*

1st = 15: 9: 0  
 2nd = 16:39:54  
 3rd = 16:40: 6  
 4th = 18:17: 1  
 max = 16:40: 0

dur = 0:12

max.mag 0.999

Local circumstances of annular solar eclipse 1984 年 5 月 30 日



annular eclipse

Long = 78°28'33"  
 Lat = 36°45' 0"  
 hi = 0 m

\* CONTACT TIME \*

1st = 15: 9: 0  
 2nd = 16:39:54  
 3rd = 16:40: 6  
 4th = 18:17: 1  
 max = 16:40: 0

dur = 0:12

max.mag 0.999