

パーソナルコンピューターによる ダイヤモンドリングのシミュレーション

塩 田 和 生

(1) はじめに

筆者は、「日食情報」1984 年3月号で、パーソナルコンピューターPC 9801を用いて行なったダイヤモンドリングのシミュレーションについてその概要を紹介しました。しかし、前回のシミュレーションは妥当性の検証のためのデータが少なかつたため、十分なレベルに達しているとは言えないものでした。

その後、1984年5月30日の北米金環皆既日食の写真(「日食情報」1984年4月号参照)や1984年11月23日のニューギニア日食の写真など、かなり詳しい撮影データがわかった写真を見る機会を得ました。そこで前回のシミュレーションを見直してみたところ、1. 1° 毎の月縁データではやや粗すぎる。2. 太陽のはみ出し量とダイヤモンドの大きさの関係が不適合でダイヤモンドリングの形状がやや不自然である。3. 露光時間によってダイヤモンドリングの形状はかなり変わる。4. 正確なシミュレーションを行なうには地心ではなく、測心的(観測者から見た)な月のLBCの値に基づかないといけな、などの問題点が明らかになりました。

これらの問題点を考慮してプログラムを作り直し、上記1984年5月30日と1984年11月23日の日食のダイヤモンドリングをPC 9801のディスプレイ上に描かせてみたところ、実際の写真とかなり近いイメージを作ることが出来ました。また、写真の露光時間とコンピューターで作ったイメージの関係もある程度ははっきりさせることができました。

これに自信を得て、近い将来の日食で美しいダイヤモンドリングが見られそうな日食(太陽と月の大きさがほぼ等しい日食)はないかと調べた結果、1986年10月3日の金環皆既日食と1987年3月29日の金環皆既日食がかなり面白そうなので、早速シミュレーションをしてみました。その結果、この2つの日食では1984年5月30日の日食と同様、すばらしいベイリービーズが見られるはずであることが明らかになりました。

では次に、シミュレーションの手順、検証結果とその考察、1986年と1987年の金環皆既日食のダイヤモンドリングの予報の順に述べてゆきます。(この内容は1985年4月7日の日食報告会で話したものを、より詳しく述べるものです。また、今回は紙面の都合で1986年と1987年の予報は次号に回します。)

(2) LBCの計算

ダイヤモンドリングの予報をする上でまず知らなくてはならない量は、観測地から見た(測心的: topocentric)月面中央点の月面経度(L)月面緯度(B)および月の自転軸の天の北極からの傾き(C)の3つです。これらの量は、次の手順で計算できます。(海上保安庁水路部の

金沢氏による)

1. 観測地の経緯度 (ϕ, λ)、観測時刻 (t) を求める。
2. 時刻 t における地心的 (geocentric) な L_0, B_0, C_0 を求める。
3. 時刻 t における月の赤経、赤緯 (α, δ) 地心地平視差 (π) および恒星時 (S.T) を求める。(2, 3は、天体位置表、天文観測年表などの月のこよみのデータから補間計算します。)
4. 1~3で求めた数値をもとに、次の手順で測心的な L, B, C を求めます。

(但し、 Z は地心的天頂距離、 Q は視差角、 π' は測心的視差です)

$$H = S.T. - \alpha + \lambda$$

$$\sin Z \sin Q = \cos \pi \sin H \quad \text{①}$$

$$\sin Z \sin Q = \cos \delta \sin \pi - \sin \delta \cos \phi \cos H \quad \text{②}$$

$$\cos Z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos H \quad \text{③}$$

したがって、

$$Q = \arctan \frac{\text{①}}{\text{②}}$$

$$\sin Z = \sqrt{1 - \cos^2 Z} \quad (\sin Z = \sqrt{1 - \text{③}^2})$$

$$\sin 2Z = 2 \sin Z \cos Z$$

また、

$$\pi' = \pi (\sin Z + 0.0084 \sin 2Z)$$

以上求めた値を用いて、

$$L = L_0 - \pi' \sin (Q - C_0) \sec B$$

$$B = B_0 + \pi' \cos (Q - C_0)$$

$$C = C_0 + \sin B (L - L_0) - \pi' \sin Q \tan \delta$$

なお、これらの計算は、時刻系 (UT: 世界時, ET: 暦表時, TD: 力学時, など) を統一して行なわないといけません。ダイヤモンドリングのシミュレーションのためには L, B, C が最終的に 0.1° の精度で求めれば十分と思われますので、あまり意識する必要はなさそうです。また、月から見た地球の視半径は約 1° ですから、 L, B と L_0, B_0 の差は最大 $\pm 1^\circ$ 程度になります。

(3) 月縁データ

L, B, C が求まったら次にその組み合わせに対する月縁のデータを知らなくてはなりません。月縁のデータは有名なワッツのチャート (THE MARGINAL ZONE OF THE MOON by C.B. WATTS) を見れば知ることができます。ワッツのチャートには、月の自転軸から東回りに 0.2° 毎に、 L, B と平均月縁からの起伏量の関係が図で示されています。

(図は全部で1800枚)

ワッツのチャートから月縁データを読み取る作業は結構大変で、今回は 0.4° 毎にしましたが、

それでもL, Bの1つの組み合わせに対して約2時間かかりました。すでに読み取ってデータファイルに登録した月縁データは、当面関心のある4つの日食に対するもので、次のとおりです。

L = - 5.0 B = 0.0 (1980. 5. 30 の金環日食)

L = - 4.5 B = -0.3 (1986. 10. 3 の金環皆既日食)

L = 4.0 ~ 5.0 B = 0.0 (1984. 11. 23の皆既日食、1987. 3. 29の金環皆既日食)

(4) 太陽のはみ出し量の計算

観測地と観測時刻が決まれば、その時の月と太陽のみかけの位置と大きさが決まります。これらを計算することは日食予報計算の一部であり、既に山本威一郎氏や遠山御幸氏が紹介されている計算法を応用すれば可能です。(「日食情報」1981. 1. 2. 4. 1982. 1. 2 「日食情報」1983. 1. 3. 4. 参照) 筆者は、この計算については、遠山御幸氏のプログラムを利用させていただきました。

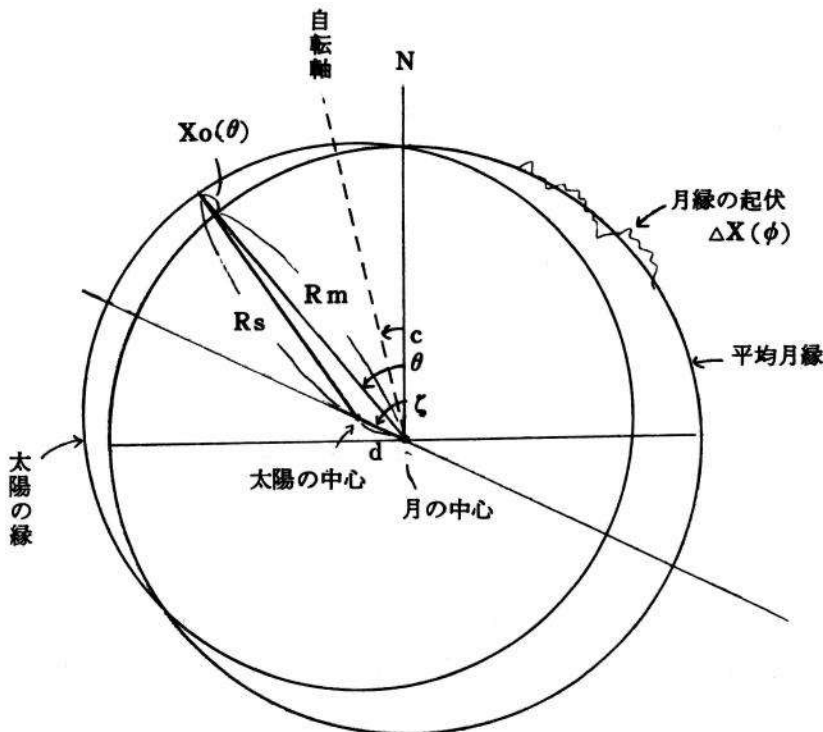


図1. 太陽のはみ出し量計算の解説図

さて、日食中のある時刻における月と太陽の位置関係が図1のようになっていたとします。
 d 、 ζ は月の中心からみた太陽の中心の距離と方位角であり、また R_m 、 R_s は月と太陽の視半径であり、ともに日食予報計算から求まります。次に方位角 θ における平均月縁からの太陽のはみ出し量 $X_o(\theta)$ を計算しますが、これは余弦定理を用いて求めることが出来ます。

$$R_s^2 = d^2 + (R_m + X_o(\theta))^2 - 2d(R_m + X_o(\theta)) \cos(\zeta - \theta)$$

この式を解いて、

$$X_o(\theta) = d \cos(\zeta - \theta) - R_m + \sqrt{R_s^2 - d^2(1 - \cos^2(\zeta - \theta))}$$

ところでワッツのチャートから求めた月縁データ $\Delta X(\phi)$ は、平均月縁に対する起伏量が月の自転軸からの角度 ϕ の関数として与えられています。 θ と ϕ の関係は、

$$\theta = \phi + C$$

したがって、月縁の起伏まで考慮した太陽のはみ出し量 $X(\theta)$ は、

$$X(\theta) = X_o(\theta) - \Delta X(\theta - C)$$

となります。

(5) 太陽のはみ出し量とダイヤモンドの大きさ

上の計算で起伏のある月縁に対して太陽がどれだけのはみ出ししているのかが分かったわけですが、パーソナルコンピュータのディスプレイ上にダイヤモンドリングのイメージを作り出すためには、はみ出し量とダイヤモンドの大きさの関係を決めなければなりません。

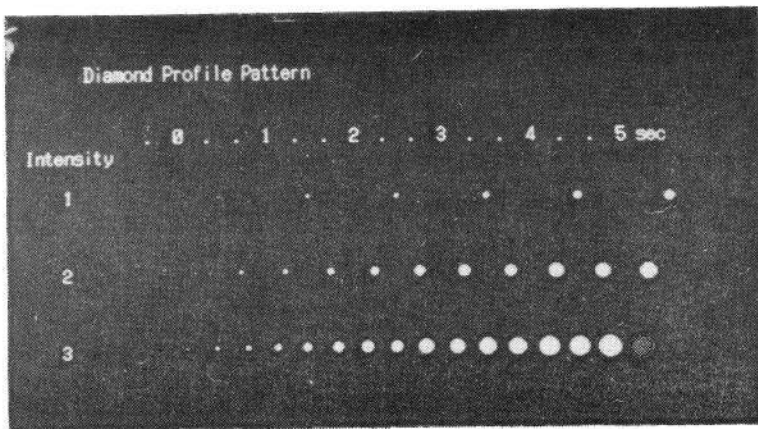


図2 太陽のはみ出し量とダイヤモンドリングの大きさ

前回のシミュレーションでは、単にはみ出し量に比例した円にただけでしたが、これでは、ダイヤモンドリングの形がやや不自然です。そこで今回は、図2のようにみ出し量に比例した面積のパターンでダイヤモンドの大きさを決めました。intensityは、写真の露光時間に対応する量です。

(6) シミュレーション結果の検討

では、いよいよ、シミュレーションと実際の写真の比較についてです。図3、図4は、Sky and Telescope 1984.8月号に載っていた1984年5月30日の金環日食の写真とシミュレーション結果の比較です。観測地の正確な経緯度は載っていないので、とりあえず中心線付近であるとして経緯度をあたえてあります。パソコンのディスプレイの表示性能の限界のため(640×400ドット、8色)細部の表現には若干不満はありますが、全体としては写真とシミュレーションはよく一致しています。

図3の写真データはCRITERION 4000 望遠鏡をF23に絞りND2フィルターを用いて1/60秒でコダックVR100に露光したもので、シミュレーションはintensity=1でほぼ適正でした。図4の写真データはDynamax8にテレコンプレッサーをつけてF5にして1/1000秒でコダクローム25に撮影したもので、シミュレーションはintensity=1.5~2.0で適正でした。

図5は、真砂礼宏氏が1984年1月23日のニューギニアでの皆既日食の際撮影されたダイヤモンドリングの写真とシミュレーション結果を比較したものです。この場合は、観測地の経緯度が正確に分かっていたので、時刻も1秒以内の精度でシミュレーションできていることが確認されました。写真のデータは、時刻21時22分47秒(UT)でニコン6.5CM屈折にコダクローム64を用いて1/125秒で撮影されています。シミュレーションはintensity=3で適正でした。

このように、intensityを適当に選ぶことにより、種々の露光時間に対するダイヤモンドリングの写真のイメージをかなり正確にシミュレーションすることが可能です。intensityと露光時間の関係は大体次のようになります。

intensity = 1 : F 15 ASA 100 1 / 10000 sec
intensity = 2 : F 15 ASA 100 1 / 1000 sec
intensity = 3 : F 15 ASA 100 1 / 100 sec

(つづく)

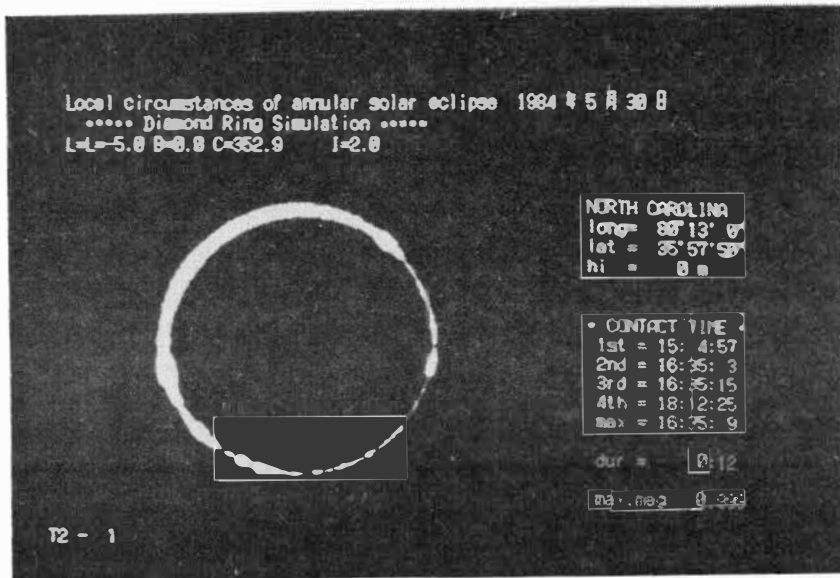


図3. 1984. 5. 30の金環食のベイリービーズ

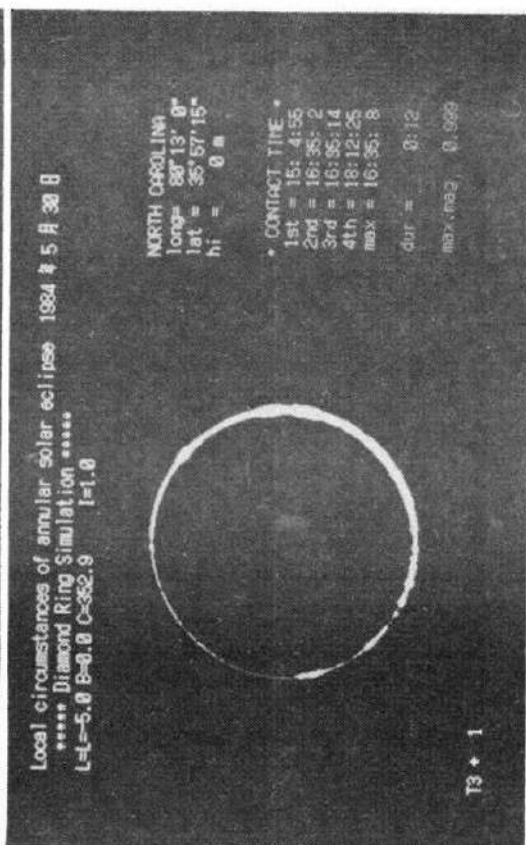
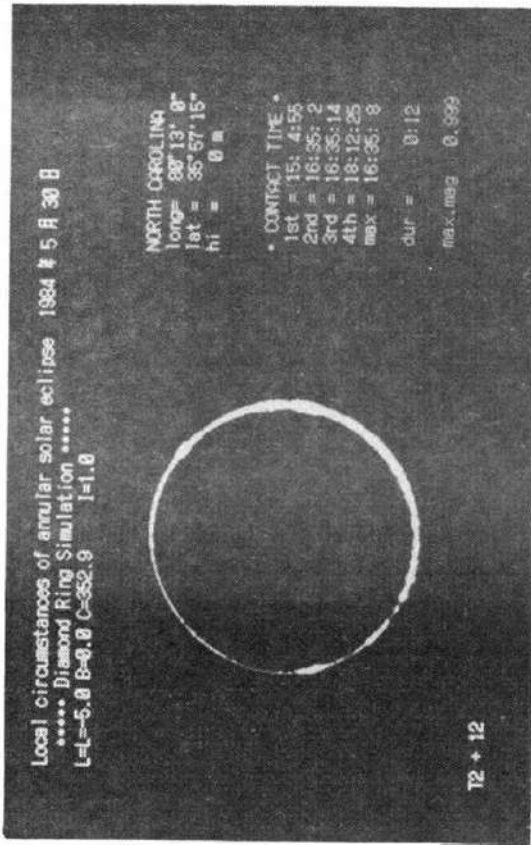


図4. 1984. 5. 30 の金環食

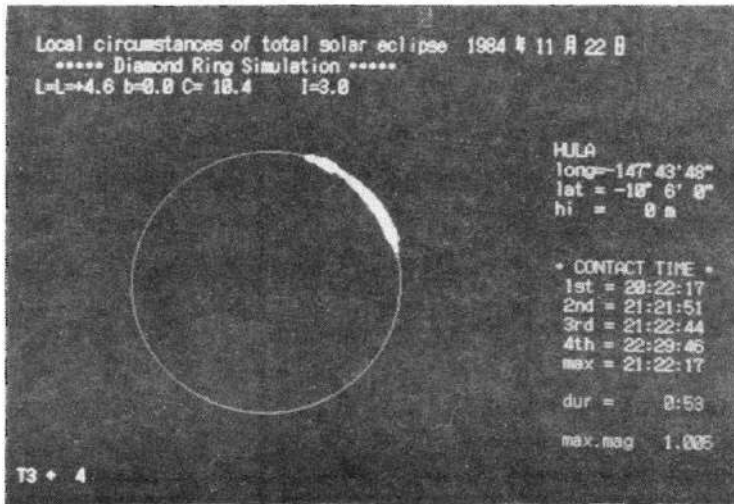


図5. 1984. 11. 23 の皆既食のダイヤモンドリング