

沖縄日食と種ヶ島日食の光電測光

秦 茂

今回の沖縄日食で天文アマチュアの方々が試みることが出来る天体物理的な観測がある。それは金環食の全光量の光電測光である。

これは太陽の周縁減光係数を決定するために行われる観測の一つであるが、周縁減光という言葉は初めて耳にする読者のために、この現象を簡単に説明しておく。

適度な露出で太陽面を撮影すると、それは円盤状ではなく、ボール状に写る。太陽面では中心が明るく半径方向に明るさが落ちていて、更に周縁で急激に減光しているためである。

太陽中心の明るさを1.0として、半径方向に周縁に近づくに従って減光する割合を減光係数といい、皆既日食、金環食の際にこの係数をきめるための観測が行われて来た。ここでは、1958年種ヶ島日食と1987年沖縄日食での金環食の全光量の明るさの比較を行う。

1. C. W. アレンの提案と太陽周縁減光の定義

日食情報1984年 Ⅷ1にはアレンの提案の英文が載せられていただけなので、要約すると、“まだ試みられていない方法であるが、例えば光電測光の方法で、金環食の第2、第3接触の間の全光量を測定することは有利である。この間の露出している太陽の面積は正確に一定であって、この間に起きる光量の変化は、すべて周縁減光に帰することが出来る”

光電管あるいは他の光電素子を使って太陽のような明るい天体を測光することは、減光の方法一つを取っても大変に困難な観測である。また一般に光電管の受光面は一様性を欠いているので、部分食、金環食のように刻々像の形が変っている場合はこの像をそのまま受光面に結像することは出来ない。このような場合は、光電面の直前においたレンズ（フリップリー・レンズと呼ばれる）によって第1レンズ自身の像を受光面に作るリレー・コンデンサー・システムが採られる。

更に第2接触と第3接触時で、天体の高度が違っている場合は、大気の減光についての補正を行うことは、天文測光での原則である。

さて、一般的な定義としては、観測する太陽面上の場所を、太陽半径を単位“1”として中心からの距離 ρ （ロー）で表わしている。

太陽中心が $\rho=0.0$ 、光球の周縁が $\rho=1.0$ であるが、太陽半径の方向と、観測者の方向の作る角度を θ （シーター）と書いて、 $\rho=\sin\theta$ という表現がよく使われている。天文学者によって、 $\cos\theta$ で太陽中心からの距離を表示する方もおられる。

その関係は、

$$\begin{aligned} \sin^2\theta + \cos^2\theta &= 1 \quad \text{の関係から} \\ \cos\theta &= \sqrt{1 - \rho^2} \quad \text{となる。対応させて書くと次の様になる。} \end{aligned}$$

$\rho = \sin \theta$	0.00	0.60	0.80	0.866	0.916	0.954	0.980	0.995
$\cos \theta$	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1

もう一度書くと、太陽の中心では $\rho = \sin \theta = 0.0$ で $\cos \theta$ で表示する時は、 $\cos \theta = 1.0$ 、また太陽の周縁部では、 $\rho = \sin \theta = 1.0$ 、 $\cos \theta = 0.0$ である。

グラフ表示する時には、 ρ 又は $\cos \theta$ を横軸に取り、縦座標には、太陽中心の明るさ、

$$I \lambda(\theta) \text{ と } I \lambda(0) \text{ との比、 } I \lambda(\theta) / I \lambda(0)$$

を取る。

天文学上重要な、周縁減光 (Limb Darkening) については、1922年のC.G.アポット以来、多くの観測の積み重ねがあるが、金環食撮影のために利用できる。分光しない太陽の周縁減光係数は前記C.W.アレンの表によると、

$\cos \theta$	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
$I(\theta) / I(0)$	1.00	0.898	0.787	0.731	0.669	0.602	0.525	0.448

従って、金環食の写真撮影のためには、特殊な色フィルターを使わない限り、ドーナツ部分の露光は、中央部の太陽の2倍は必要ということになる。色フィルターを使った場合には、青色フィルターから赤フィルターの方向にLimb Darkeningの効果はなくなる。

2. 金環食の明るさの基本式

高校の“数ⅡB”の教科書には、微分、積分の計算が入ってくる。高校2年生の時を思い出して積分に挑戦しよう。金環食の明るさは積分の式で次のように表わすことが出来る。

R = 太陽の半径を1.0とおいた時の、月の見掛けの半径。

Δ = 太陽中心と月の中心との距離 (中心食の場合、食の最大の時は $\Delta = 0$)

r = 太陽中心からの距離 (前の節では ρ (ロー) と書かれている)

$f(r)$ = 周縁減光係数

ここに J_{total} は食を起してない太陽の全光量である。

$$\frac{J(R, \Delta)}{J_{\text{total}}} = \frac{2\pi \int_{R+\Delta}^1 r \cdot f(r) dr + 2 \int_{R-\Delta}^{R+\Delta} r \cdot f(r) \cos^{-1} \frac{(R^2 - \Delta^2 - r^2)}{2\Delta r} dr}{2\pi \int_0^1 r \cdot f(r) \cdot dr}$$

$\overline{MS} = \Delta$

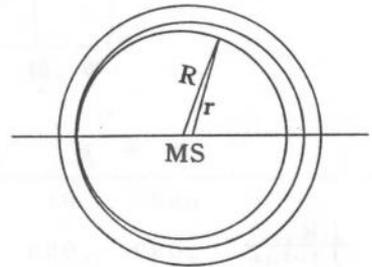


図-1. M:月の中心
S:太陽の中心

図-1にR, r, Δ を記入してあるから、図の上からも積分の式の意味を確かめていたゞきたい。積分の式の分子の第一項は図-1の同心円の外側の部分で、第二項は内側の月によって或る角度だけ切られている部分である。

3. 基本式の応用

前の節の $f(r)$ 、周縁減光係数を求めるのが、この光電測光の目的なのであるが、ここでは種ヶ島日食（食分0.94）と今回の沖縄日食（食分0.98）による、データーの比較を試みる。

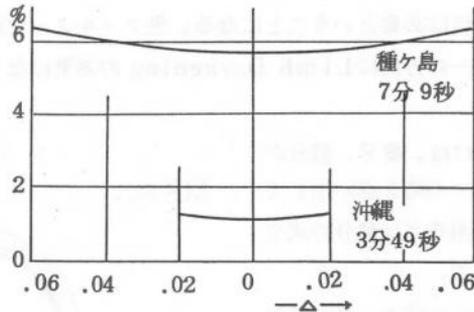
従って今までに研究された減光係数の一つ、Z.コパールによる $f(r)$ を積分式に代入して見ることにする。

波長 4265Åのデーター

r	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
$f(r)$	.580	.564	.547	.530	.511	.491	.470	.445	.419	.388	.345	.287	.200

代入した結果を図-2に示す。図-2と表の数値は積分の式の左辺の $J(R, \Delta) / J_{total}$ である。

図-2.



種ヶ島 R=0.94 波長 4265 Å

Δ	0.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06
$\frac{J(R, \Delta)}{J_{total}}$	.059	.059	.059	.060	.061	.062	.064

沖縄 R=0.98 波長 4265 Å

Δ	0.00	.01	.02
$\frac{J(R, \Delta)}{J_{total}}$	.0152	.0154	.0164

種ヶ島日食では食分が0.94であって中心食では、全光量が欠けていない太陽の5.9%の明るさになるのに対して、沖縄日食のそれは1.5%であり、赤フィルター使用の場合は（波長

6702 A) 2.1%に減光する。

以上は今回の沖縄日食で光電測光を試みる方のための逆計算である。この程度の光量変化を考えて観測準備を進めていただきたい。この種の光電測光を行い、その結果の解析のために、積分方程式を解いたり、あるいはパーソナル・コンピュータで、周縁減光係数を計算する仕事は、ハイレベルの天文アマチュア、理科系の大学生にとって、適当な問題の一つであると考えている。

