

ニューカークフィルターを用いたコロナの撮影

塩 田 和 生*

自分の眼でコロナを見た人は流線の華麗な拡がりを感じ、さらに双眼鏡を通して眺めればアーチ構造やコンデンセーション・ポーラーブルーム等の複雑な微細構造に驚かされます。しかしコロナは普通に写しても、眼で見た素晴らしさにはほど遠い微細構造がぼやけた写真しか得られず、がっかりしてしまうことが多いようです。

これは、太陽の光球面から離れるにつれて急激に暗くなってゆくコロナの平均的な明るさの変化に対して、コロナの微細構造のコントラストが低いからです。人間の眼は滑らかな明るさの変化の中から局部的な明るさの差を特に強調して識別する能力を持っているので、コロナの平均的な明るさの中からコントラストの低い微細構造をはっきり見出すことができます。しかし写真の場合ですと、コロナの平均的な明るさの差もそのまま記録する必要があり、その差が一般に感光材料のダイナミックレンジを越してしまうため、コロナの拡がりや細部構造を同時に再現するのが困難なわけです。つまり短時間露光では内部コロナの細部構造は再現できますがコロナの拡がりや露光アンダーで写らず、逆にコロナの拡がりや十分写る程の露光を与えると内部コロナは露光オーバーでとんでしまうことになります。

ニューカークフィルターは、上記の問題を克服してコロナの拡がりや微細構造を一枚の写真に記録するために、1966年の皆既日食の際アメリカのニューカーク博士によって考案されました。このフィルターはフィルムの直前に置かれ、明るい内部コロナの平均的な明るさを滑らかに弱める濃度分布を持たせたものです。これが正しく用いられた時の効果は素晴らしく、従来の日食写真のイメージを一変させ、その後皆既日食の度に専門家の間でコロナの微細構造研究用に用いられています。

ニューカークフィルターは使用する光学系の焦点距離やフィルムサイズ等に合わせて作る必要がありますが、筆者は1973年のアフリカ日食の際5cm屈折に取り付けた35ミリカメラ用に超微粒子乾板を用いてこのフィルターを試作し、コロナのカラー撮影を試みて一応の成功を収めました。そしてさらに1980年のインド日食では種々の改良を加えて8cm屈折に取り付けた6×7カメラに組み込んで眼で見たイメージに非常に近いコロナのカラー写真を得ることに成功しました。

以下に筆者のニューカークフィルター製作法とこれを

用いたコロナの撮影法の概要を述べてみます。

詳しくは次の文献を参照してください。

(天体写真 NOW: No. 3, p. 68~p. 71, 1978; 1980年アフリカ・インド皆既日食観測報告: 東京理大天文研 OB 会アフリカ・インド日食観測隊 p. 31~p. 40, 1980)

濃度分布の設計

ニューカークフィルターの濃度分布を設計するには、まずコロナの平均的な輝度分布を知らなくてはなりません。この輝度分布は太陽活動の11年周期で変化し、1973年は極小期に近くコロナは赤道方向に拡がり、1980年は極大期に近くコロナは四方八方一様に拡がりました。

1980年のインド日食用のニューカークフィルターを設計するに当たっては、まず最近の極大型コロナの輝度分布データとして、1970年3月の皆既日食の際東京天文台が得た測光データを調べてみました。(Annals of the Tokyo Astronomical Observatory: Vol. 13, No. 2, p. 93~p. 167)そしていくつかの代表的な領域の測光データ(輝度の対数)を、太陽中心からの距離に対してプロットしてみたのが図1のA~Dです。

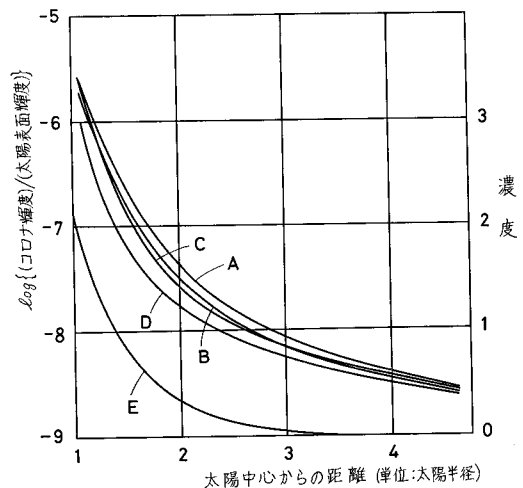


図 1 コロナの輝度分布('70年3月7日)とニューカークフィルターの濃度設計

- A 明るい流線
- B やや暗い流線
- C ノーマル領域
- D アブノーマル領域
- E '80日食用ニューカークフィルター濃度分布設計値

* 日本情報センター Kazuo Shiota: Photographing the Corona with a Radially Graded Filter

図1を見ればわかるように、コロナの平均的な輝度の差は $1r_0$ (光球面の縁) と $5r_0$ で 1000 倍 (対数で 3) ぐらいあるのに、各微細構造の輝度の比はせいぜい数倍 (対数で 0.5 程度) しかありません。カラーリバーサルフィルムを使うとするとその良好な階調再現範囲は輝度の比の対数で 1.2~1.5 程度ですから、普通に写したのではコロナ全体の階調を十分良好に記録することはほとんど不可能であることがおわかりいただけると思います。

コロナの微細構造の研究を主目的にしてニューカークフィルターを設計する場合、測光精度を出来るだけ上げるためにコロナの平均的な輝度分析が完全に消えるように濃度分布を決めるのが適当であると思われます。しかし筆者の場合、コロナの輝きと微細構造を眼で見た通りの自然な感じに写したい、というのが目的なので、撮影用フィルムのラチチュードの許す範囲でコロナの平均的な輝度が残るように考慮しました。そして撮影時に露光時間があまり長くなりすぎないように、フィルターに黒みを持たせる範囲は $3\sim 3.5r_0$ 程度までとし、図1のA~Dの4つの領域の濃度分布がフィルター透過後に全体として滑らかになるように工夫して、図1のEのような濃度分布を設計しました。

図1のEのような濃度分布のニューカークフィルターを、皆既日食時の平均的な空の明るさ (太陽面輝度の 10^{-9}) の下で 1970年3月7日のコロナに用いたとすると、A~Dの領域は図2のような輝度分布としてフィルム上に記録されることとなります。 $5r_0$ までの範囲で輝度レンジは対数で 1.2 ですからカラーリバーサルフィルムのラチチュードで十分良好に階調再現されるはずで、又プロミネンスは内部コロナより若干明るいので、コロナの拡がり程の露光を与えると多少露光オーバー気味になるかも知れませんが、ピンク色の姿は十分再現できると予想しました。

フィルターの材料

ニューカークフィルターに必要な濃度分布を作る方法

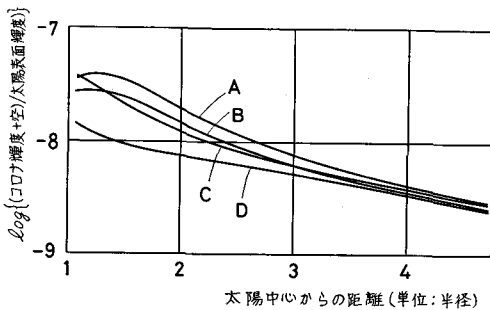


図2 '80日食用ニューカークフィルターの極大型コロナへの効果 (図2)-(図3)

としては、ガラスの ND フィルターを光学旋盤で削るとか、ガラス基板に金属を蒸着させるといった方法もありますが、筆者は比較的簡単な設備でできるようにと考え、写真感材に適切な光を当てて現像する方法を用いました。感光材料としては、粒子が十分細かく、ガンマが高く、平面性がよいことなどを条件に選び、1973年にはコダックのハイレゾリューションプレート (HRP: ICマスク等の製作用乾板)、1980年には 649F 乾板 (ホログラフィ用) を使いました。

これらの乾板を使う上で一番困った点は、いずれの乾板も一般的な現像液で処理したのでは黒化部が濃緑色になる点で、カラー写真用に用いるためコロナに色がつかないように十分中性灰色のフィルターになるよう種々の現像液との組合せを調査しました。その結果、HRP 用には D8, 649F 用には D19 に少量のハイボを加えた現像液を用いることで、多少粒状性は悪くなるけれど中性灰色の黒みが得られることがわかりました。粒状性を比較すると 649F の方が若干すぐれているようです。なお 649F 乾板の価格は 79年10月の購入時で 4×5 インチ 36 枚入 (厚さ 0.04 インチ) で 45,000 円でした。

フィルターの製作法

図1のEのような濃度分布を同心円状に乾板上に記録するために用いた露光装置は図3のようなものです。レコードプレーヤー上に4枚羽根の白黒パターンのセクタ



図3 ニューカークフィルター露光装置 (1979.12撮影, 6×7 用)

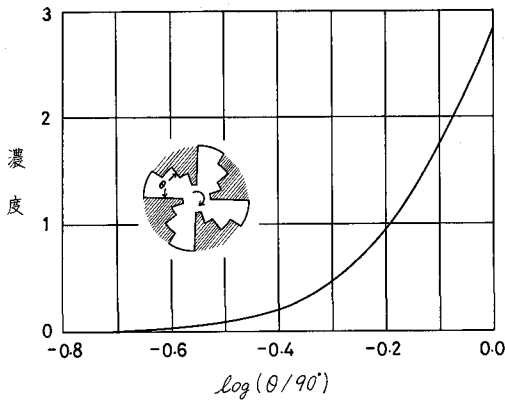


図4 ステップセクター撮影 (F8, 2/20", 縮少率 0.283, D19+ハイボ 20°C 6分現像)

ーを置いて、回転させながら撮影するわけです。露光時間は回転周期より十分長くしましたので、セクターの各部の半径における白い部分の角度に比例する光量が、乾板上の対応する半径の同心円上に蓄積されることになり、セクターの形が適切であれば目的とする濃度分布が得られることとなります。

セクターの形を決めるには、乾板の特性曲線を知ることが必要です。筆者の場合、セクターの撮影条件と同じ条件での特性曲線を求めるため、まずステップ状のセクターを撮影しました。乾板は最終的に用いるのと同じ現像条件で処理し、得られた黒みの濃度をマイクロデンシトメーターで測定しました。図4はこのようにして得られた測定データの1例で、セクターの角度と乾板の濃度の関係を表わしています。あらかじめ決めておいたフィルターの濃度分布をこの曲線に当てはめてみれば、セクターの形と露光時間が決まります。

次にセクターの作り方ですが、白い部分と黒い部分の濃度の差が十分あって、かつなるべく短時間に境界が滑らかなセクターを作れるように、下のような方法を用いました。(ステップセクターの作り方も同様です)

- (1) 特性曲線をもとにして、各半径の濃度設計値に対応するセクターの角度を決め、表を作る。
- (2) 放射線図と呼ばれる同心円状のグラフ用紙に(1)の表をプロットし、滑らかな曲線で結ぶ。
- (3) これをできるだけ丁寧に切り抜き、黒く塗る。
- (4) この黒紙を印画紙の上に置き、一様露光する。
- (5) 黒紙を取り除いて印画紙を現像する。

これでセクターができあがり、レコードプレーヤーの回転台に正しく中心を一致させて載せます。セクターの撮影倍率は、望遠鏡の焦点距離を実測して日食時の太陽像の大きさを計算し、これとセクターのスケールの比から決めました。乾板は暗室中で必要な幅(35ミリ用は-3.5ミリ、6×7用は54ミリ)に切ってカメラにセッ

トします。

このような方法で実際にフィルターを作ってゆく上で苦心した点は、セクターの輪郭をいかに滑らかに切り抜くかという点、又乾板のガンマが高いので露光条件の微妙な差で濃度がかかなり変動する点などです。最終的には数10枚作ったフィルターの中から、濃度が設計値に近く、キズ・ムラ等の欠陥がないものを数枚選び出すということになりました。

フィルターの組込方法

適当な濃度が得られた乾板は必要な長さ(35ミリ用は35ミリ、6×7用は69ミリ)に切り、カメラに組込みます。取り付ける位置はなるべく結像位置に近い方がいいので、フォーカルプレーンシャッターとフィルム間にしました。固定方法は、フィルターの端1ミリ幅ぐらいを利用してセロテープで貼るのが簡単で実用的です。筆者の使用したカメラ(1973年はニコンF2、1980年はアサヒペンタックス6×7)では、いずれもカメラの中にセロテープを貼っても問題のないスペースがありましたが、カメラの構造によってはフィルムとセロテープがすれ合う可能性があるので注意する必要があります。

撮影に際して最も注意すべきことは、太陽像の中心とフィルターの中心を正しく一致させることで、これが大きく狂ってしまうと見られない写真になってしまいます。そのため中心位置合せのためのファインダーには、日食中の撮影予定時刻における太陽と月の相対位置関係を示すパターンを組込みました。日食が始まる前に、まずカメラの裏ブタとシャッターを用いて太陽像とニューカークフィルターの中心を合わせておき、その状態でファインダーの太陽像と太陽位置パターンの中心を合わせます。そして日食中シャッターを切る前にファインダーの月の位置のパターンと月の縁を合わせるわけです。この調整には十分な分解能が望まれるので、73年の場合はカメラのファインダースクリーンに上記パターンの乾板を貼り付け、80年の場合には6センチ屈折を同架してOr18ミリ接眼鏡(倍率23倍)に上記パターンのスライドフィルムを組込みました。

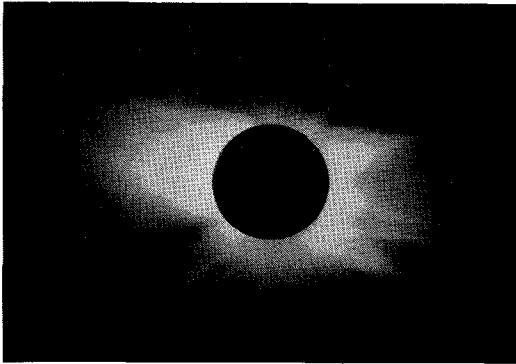
また、コロナの拡がりりは5 σ までとして2.5度におよびますから、普通の望遠鏡では絞りやドロチューブによる視野のケラレにも注意する必要があります。そのため80年の場合には8センチ屈折の鏡筒はドロチューブをはずして鏡筒と同じ径の接続リングを作りヘリコイド接写リングを介してカメラボデーを取り付け、さらに鏡筒の中の絞りも径の大きいものに交換しました。

撮影結果と考察

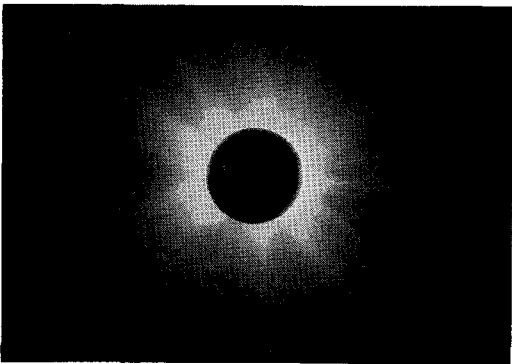
73年、80年共好天にめぐまれてそれぞれ数コマずつ

コロナの撮影を行ないました。(80年の日食では榊原幸雄氏と共同で撮影に当りました)問題のフィルターと太陽像の中心位置精度は、ほとんどが太陽直径の1%(角度で約20秒)以内の誤差におさまっており、この程度の誤差ならほとんど仕上がりに影響しないことが確認できました。

ニューカークフィルターの効果については作例写真を見ていただくのが一番いいと思いますが、それぞれ極小型、極大型コロナの特徴がよく出ています。しかし詳細に比較すると、口径の差による解像力の違い以外にもいくつかの特徴的な差があります。



作例写真 1 1973年6月30日のコロナ
5 cm 屈赤 (高橋製 $f=711$ m/m) ニュ
ン F2 ボデー (ニューカークフィルタ
ー内蔵), 露光 5 秒, エクタクローム
X, 撮影地: エリースプリングス (ケ
ニヤ), (ネオパン F でインターネガお
こし, 覆焼プリント……ハローは目立
たなくした.)



作例写真 2 1980年2月16日のコロナ
8 cm 屈赤 (高橋製 $f=1200$ m/m 螢石
レンズ), アサヒペンタックス 6×7 ボ
デー (ニューカークフィルター内蔵),
露光 4 秒, エクタクローム 64, 撮影
地: ライチュール (インド), (4×5 イ
ンチインターネガよりプリント)

まずフィルターの濃度分布とその効き方ですが、80年の日食の写真では先に説明したようなやり方で濃度分布を決めたのでかなり滑らかな効き方になっています。一方73年の日食の場合は極小型コロナの赤道方向の平均的なコロナ輝度をもとに決めたので、極の方向には効果が強すぎますしやや滑らかさにも不備が残ります。一般に極小型の場合、コロナの平均的な輝度が赤道方向と極方向でかなり差がありますので、濃度分布は決めにくくなります。

プロミネンスは80年の日食の写真の方にしか写っていませんが、やはりコロナの拡がり程の露光ではやや露光オーバーです。ピンク色の姿をより強調するには、太陽の縁あたりのフィルター濃度をもう少し上げたいところです。

73年の日食の写真では半径 $2.5 r_0$ ぐらいのハローがコロナに重なっていますが、これはフィルターの乳剤面を撮影フィルム側に向けたため、フィルターの黒い部分の銀粒子によって生じた明るい内部コロナの後方散乱光が反対側のガラス面で全反射してハレーションのように拡がったためと思われます。80年の日食の際にはフィルターの乳剤面は対物レンズ側に向けたのでこの問題は解決しました。

また、ニューカークフィルター上に付着するホコリは焦点面に近いだけに無視できません。特に80年のコロナの写真では細かく見ると意外と気になりました。太陽高度の高い場合は、シーロスタットなどを使うのであれば防塵対策には十分気を使う必要があります。

ま と め

以上述べたように、微粒子乾板を使ってニューカークフィルターを作る方法は、実用的にほぼ満足できる結果が得られました。そしてこの方法は装置と手順が決まれば比較的簡単に何枚も作れるのが特徴で、事実80年の日食の際には何人かの人にフィルターを提供することが出来ました。

今後さらに改良を加えて、より美しいコロナの写真に取り組んでみたいと思います。

☆ ☆ ☆