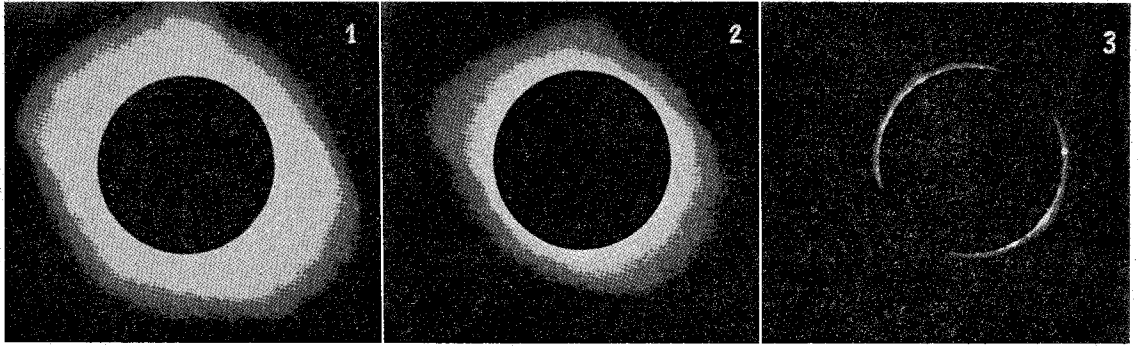


## XR フィルムの天体写真観測上の効用について

藤 波 重 次\*



第 1 図 XRフィルムによって1枚の撮影から得られた皆既日食の写真.

1963年7月20日の皆既日食を35ミリ判XRフィルムを用いて、口径18.5cm反射望遠鏡F5.6、1/8秒で撮影した1枚のネガから分離プリントしたもので、写真①は外部コロナ、②は中間コロナ、③はプロミネンスを示すようにされたものである。(By courtesy of W.P. Boquist and E.H. Rideout)

## § 1. XR フィルムの特性

XRフィルムのことは天文学関係の雑誌ではSky and Telescope 1964年1月号<sup>(1)</sup>で始めて紹介され、それを筆者が科学読売1964年8月号で紹介したことがあるだけで、現在でもこの特殊なフィルムのことは一般にあまり知られていないようであるから、本題に入る前に、まずその構造や特性の概要を述べておくことにする。

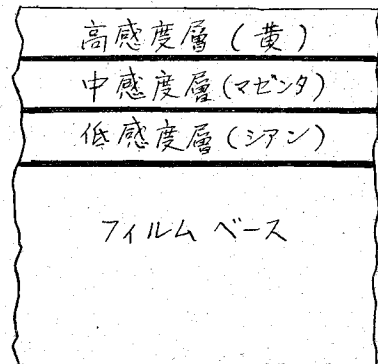
XRフィルムはExtended Range Filmの略称であり、その意味はフィルムの露光寛容度が非常に広いということである。つまりこのフィルムは非常に明るい物体と非常に暗い物体とを、同じ露出で、同じ画面に撮影することができる性質を有するもので、たとえば月と恒星とを同一画面において、どちらも適正露光の状態で撮影することができるほどのものである。

このフィルムは元来、原子核爆発の測光的の研究用に開発されたものであり、核爆発においては明るさの非常に異なる現象がほとんど同時に一瞬間に発生するもので、これを従来のフィルムで測光的撮影をするには、少なくとも3台のカメラに感光度の異なるフィルムを用いて、同時に撮影しなければならないのであった。しかしXRフィルムの発明によってこのような現象も1台のカ

メラで容易に撮影できるようになっている。XRフィルムの露光寛容度は1:1億におよぶと公称されている。これに比するに、普通の黑白フィルムの露光寛容度は、優秀なものでも1:500~1000程度までである。

このXRフィルムの天文学的应用としてはSky and Telescope誌<sup>(1)</sup>に皆既日食でテストした写真が発表されているので、まず第1図にそれを引用しておこう。太陽のコロナの最も内側の部分と外周部とは非常に明るさが異なるのであるから、普通のフィルムを用いる場合には露出時間を種々にかえて撮影しなければならないのであるが、XRフィルムによれば露出時間の問題にあまり頭を悩ます必要なしに、1枚の撮影だけでも、外部コロナからプロミネンスまでを記録したネガを得ることができ、後日のプリントによって任意の露出に相当する写真を作ることができる。第1図はその1例である。

XRフィルムの構造は第2図に断面の略図で示したごとくで、現在の三層乳剤式カラーフィルムと同じ原理の



第 2 図 3種の感光膜からなるXRフィルムの構造(カッコ内は発色現像後に生じる画像の色を示す)

\* 京大理  
Shigetugu Fujinami; Virtues of the XR Film on The  
Astronomical Photography.

乳剤層	感光度	発色	画像の粒状性	有効解像力	分離観察用のフィルター
上層	高感度 ASA 400	黄	やや粗大	70本/mm	青紫色
中層	中感度 ASA 4	マゼンタ	中位	50本/mm	緑色
下層	低感度 ASA 0.004	シアン	微粒子	30本/mm	赤色

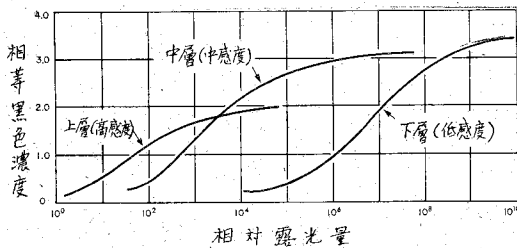
第 1 表 XRフィルムの各層の性質

ものであり、上層は黄色、中層はマゼンタ、下層はシアンの発色をするが、普通のカラーフィルムと異なる点は、上層の感光乳剤には高感度パングロ、中層には中感度パングロ、下層には低感度パングロが用いられていることである。第 1 表はXRフィルムの各層の性質を、第 3 図はそれぞれの特性曲線を示したものである。

XRフィルムはこのような特殊の発色フィルムであって、撮影して得られたフィルムを白色光にすかして眺めると、暗い被写体の画像は黄色、中間の明るさのものの画像は赤色、最も明るい物体の画像は紫黒色となっており、被写体の明るさに応じて画像の色が異っている。被写体の明るさ（厳密に言えば露光量）と画像の色調との関係は大体第 4 図に示すようなものである。

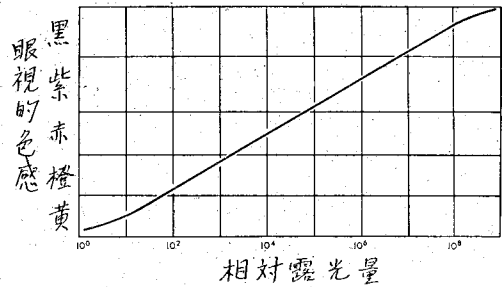
上述のようなXRフィルムの画像は、白色光にすかして眺めるだけでも 3 種の感光層の画像を区別して認めることができ、また、フィルム上の画像のサイズや位置の測定を行なうこともできる。また、3 種の感光層によるそれぞれの画像だけを分離して観察したり、測定したり、あるいはプリントするためには、3 原色に相当する色フィルタをかけて操作すればよい。第 1 表の右端の欄に示すように、青紫フィルタを透して眺めると高感度層に写っている画像だけが見られ、緑フィルタをかけると中感度層だけの画像、赤フィルタをかけると低感度層だけの画像が見られる（第 1 図と第 6 図を参照）

このフィルムは米国 Edgerton, Germeshausen &



第 3 図 XRフィルムの 3 種の感光層の特性曲線。

縦軸の相当黒色濃度とはそれぞれの層に生じる色素の光学的濃度であって、横軸の相対露光量は光の強さを相対目盛で示したものである。たとえば、濃度 1.0 の水平線を見て行くと、この濃度が生じるための相対露光量は上層に対しては約 60、中層に対しては 600、下層に対しては 1,000,000 であることがわかる。



第 4 図 XRフィルムの総合的特性曲線。

画像の眼視的色調と露光量との関係を示す。

Grier 会社から発売されており、フィルムのサイズは 16 ミリと 35 ミリの映画用、35 ミリ判 20 枚分の普通カメラ用、さらにシートでは 4×5 インチ判と 8×10 インチ判がある。ただしガラス板のものはまだ供給されていない。

### § 2. 木星と恒星の同時撮影の実験

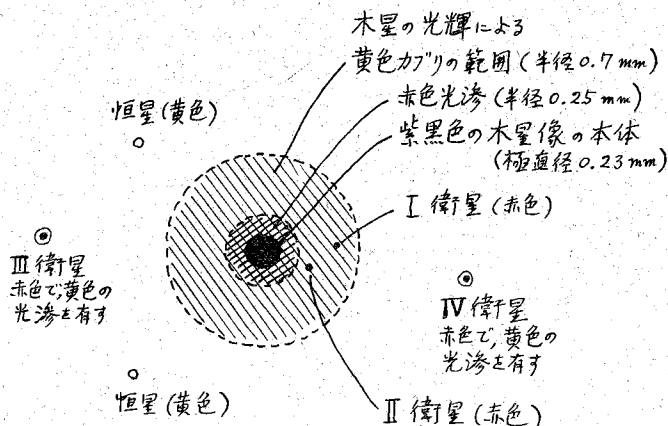
XRフィルムは前節に述べたような特性によって、天体写真観測においても新しい利用分野が開拓されるものと期待される。筆者はたまたま 4×5 インチ判のXRフィルムを入手する機会を得て、本節および次節に述べるようなテストを行なうことができた。

木星の位置の写真測定を目的として、木星の本体と恒星を同一画面に同時に撮影する実験は、木星だけの場合に限らず、火星や土星の位置測定の場合に対する実験にもなるわけである。

XRフィルムの露光寛容度は 1:10<sup>3</sup>、すなわち 20 等級の幅に相当するものであるから、木星と恒星の同時撮影は、木星が最大光輝（マイナス 2.5 等級）のころであっても、恒星は約 17 等級のものまで同時撮影できると予想される。しかも、木星の位置測定のためには 17 等級のような微光星を利用せねばならないことはなく、ボスカタログに出ている 10 等級程度までの恒星が記録されれば充分である。したがって、木星と恒星の同時撮影はかなり容易な問題であると考えられ、実験の結果もまた、そうであった。

テスト撮影は当教室のブラッシャー赤道儀に載せた T 1200 カメラ (Triplet F7, f 1200 mm) によって行なった。撮影の露出時間は 2 秒から 60 秒までの間である。その結果によると、露出 10 秒のものでスカルナテプレソ星図を優に越える程度、すなわち 8~9 等級程度までの恒星が確認され、したがってこのカメラでは、XRフィルムによる位置測定用の露出は 10~30 秒程度で充分である。

第 5 図は露出 10 秒によるXRフィルムの木星像の付近の画像をスケッチしたものである。背景の恒星はすべて黄色の点像であらわれており、最小星像の直径は



第 5 図 露出 10 秒による XR フィルムの木星像の附近の画像のスケッチ (T1200 カメラ)

0.02~0.03 mm 程度で、普通の黒白乾板上の星像のサイズと大差はない。

木星の四大衛星は赤い星像であらわれている。

木星本体は中心部が紫黒色で、その周囲に赤い滲みがあり、さらにその外側に広い黄色の滲みが生じている。

紫黒色の画像は木星の本体に相当するものであって、フィルム上の極直径は 0.23 mm であり、そのリムに測微計のワイヤーをあてて位置を讀取るテストを試みた結果によると、7 回の讀取値の平均値の自乗誤差が  $\pm 0.006$  mm となり、精度はあまりよくないが、これはもともと木星の輪かくが定まり難いものであることと、XR フィルムの低感度層の解像力が悪いという欠点のあらわれでもある。むしろこのような小さな星野写真機による写真では、木星像を直接にバイセクトする方が精度はよいようであり、ために、測微計の視野において木星像の中心線を直接に定めてみた結果によると、5 回のバイセクションの平均値の自乗誤差は  $\pm 0.002$  mm (0.3 秒角) と示された。

さて木星の光輝による黄色の光滲は、フィルム上において木星本体を中心とする半径 0.7 mm (2 分角) の範囲であって、したがってこの範囲の外であれば、光度 8~9 等級程度までの恒星が確認され、位置測定に十分に利用される。

また、赤色の光滲は木星本体を中心とする半径 0.25 mm (0.7 分角) の範囲であって、一方、四大衛星はいずれも赤色の星像として、黄色の光滲の中でも存在を確認できるから、四大衛星は木星の中心から 0.7 分角程度以上離れている場合ならば、木星の中心に対して充分精密に位置測定を行なうことができる。一般に、背景の恒星や衛星の星像に対する測微計測定の精度は普通の黒白乳剤の場合と同等である。

### § 3. 月と恒星の同時撮影の実験

月の位置の写真観測を目的として、月齢が 7 日程度から 22 日程度までの明るい状態の月と恒星を同一画面に同時に撮影することは、前節に述べた木星と恒星の同時撮影の場合よりも、はるかに困難であると予想される。

XR フィルムの各乳剤層の感光度の大きな相異によれば、第 3 層の低感度層に満月あるいは半月の状態の月の画像を適当な濃度でおさめるには、われわれの T1200 カメラによれば数 10 秒までの露光が許されるのであり、そうすれば恒星の方は第 1 層の高感度層において 10 等級を少し越す程度までのものは充分に記録される。ただし実際問題としては、

露出を長くかけると、月の輝きによってフィルム全面に黄色カブリを生じ、恒星像の検出が不可能になるという問題および露出中に月が移動するという問題があるから、露出時間はできるだけ短時間にされる必要がある。

この実験には当教室の T1200 カメラ (Triplet F7, f1200 mm レンズ) と F300 カメラ (Fujinar F4.5, f300 mm レンズ) とを用いた。

月カブリの影響は天空の澄み具合によって支配されるから、京都市の上空を撮影することになるわれわれの場合は、悪い条件におけるテストといってもよいであろう。さて、テストの結果から次のような判定が下される、

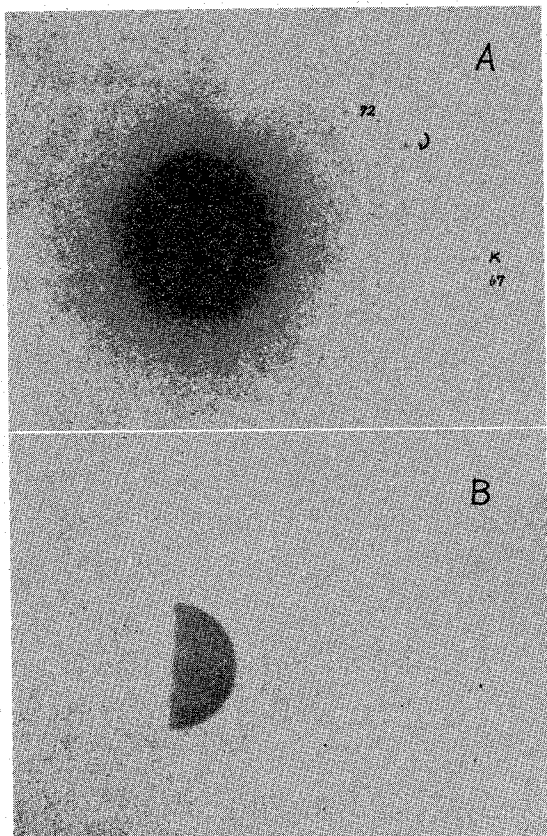
① XR フィルムによる月と恒星の同時撮影は月齢 5 日~10 日および 19 日~24 日程度の範囲であれば、かなり実用的な原板を得ることができる。

月齢 5~7 日 (あるいは 22~24 日) の場合には、適当な露光時間を選ぶことによって (たとえば F7, 2~4 秒)、月の光輝による黄色のカブリは月の輝縁から 0.8 度角ぐらゐまでにとどまり、その外部で 6 等級までの恒星を確認することができる (第 6 図参照)

月齢 8~10 日 (あるいは 19~21 日) の場合には、黄色のカブリの領域が月の輝縁から 1.4 度角ぐらゐの範囲まで広がるが、その外部では 6 等級までの恒星が充分に検出される。

これは京都市の上空としてはかなり良い天気の場合の結果であるが、大気の澄んだ高山の天文台 (たとえば乗鞍コロナ観測所) で XR フィルムを用いると、月の黄色カブリの範囲は上記の  $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{2}{3}$  になるのではないかと思われる。

② 撮影原板上の色調について述べると、月の本体は紫黒色の画像で生じ、その周囲に 0.08 mm ほどの幅の赤色の光滲を伴っている。月の輝縁を測定する場合に



第 6 図 XRフィルムによる月と恒星の同時撮影  
F5.6, 2秒露出 (F300 カメラ) で半月と恒星 (おうし座) を同時撮影した XR フィルムから、高感度層と低感度層の画像を分離したものである。

- ④は青フィルタをかけて高感度層だけを見た場合で、月の周囲にはかなりのカブリが生じているが、その外側で 4 個の白丸の所に恒星が現われている。τ Tau は光度 4 等級。  
⑤は同じフィルムに赤フィルタをかけて低感度層の画像だけを見た場合で月の本体だけが認められる。

は、測微計に赤色フィルタをかけて低感度層の画像だけを測定するが、月縁にワイヤーを接触させて読取りのテストを行なった結果では、T1200 カメラによるフィルム上で、5 回読取りの平均値の自乗誤差は  $\pm 0.002 \text{ mm}$  であった。(±0.3 秒角)

月の画像のまわりには、①で述べたごとくさらに黄色のカブリがかなり拡っているが、月から離れるにつれてカブリは減少し、その外部では恒星の画像が黄色の斑点としてあらわれている。恒星像のバイセクションは普通の黒白原板の場合と同じ精度で行なわれる。

③ XRフィルムによると、F5~F7 程度の普通の星野カメラで、月のかなり近傍で 6 等級程度まで (最上級の天気ならば多分 7 等級まで) の恒星を同時撮影することが、とにかくできるのであって、その原板から月の位置を測定することも可能である。

④ ただし、XRフィルムによる月と恒星の同時撮影

は、測定精度を高めるためには、焦点距離の長いカメラを用いる必要があるが、一方において、月カブリの影響を減少させるため、および月の運動の影響をさけるために、露出時間をできるだけ短縮しなければならないという条件があるために、Fナンバーの暗い長焦点写真望遠鏡を利用することは恐らくできないであろう。

また、この点から云うと、XRフィルムの低感度層の感光度は、今の問題に関する限りでは、少し低すぎるのであって、その感光度が現在のものよりも 10 倍ほど高い ASA 0.04 程度のものであることが望ましい。

⑤ XRフィルムによる月と恒星の同時撮影に長焦点写真望遠鏡を利用することが困難であるということから云って、月の位置測定に関しては、XRフィルムによってマルコピッツの月カメラ<sup>⑥</sup>の精度に匹敵する観測ができるとは期待されない。しかし、それにしても、XRフィルムによって普通の星野カメラのままで、6~7 等級程度までの恒星と月の鮮明な輪かくとを同時に撮影することができるようになったことは、このフィルムの偉大な功績である。

#### § 4. 天体写真用としての XR フィルムの実用性について (総説)

XRフィルムを天体写真観測に利用する上における特色と問題点は、次のようにまとめることができると思われる。

① XRフィルムの露光寛容度はまことに広いものであって、公称のとおり  $1:10^3$ 、すなわち 20 等級差に及ぶということができる。

② 天体の位置測定においては、恒星を標準として明るい惑星 (火星、木星、土星) の本体、および衛星の位置を測定するのに有利である。

③ 月の位置測定においても、天空の澄明度の優れた観測所においては、カメラに特別な装置を施すことなしに、月の輝縁から 1 度角ぐらいの範囲から外部であれば、6~7 等級程度までの恒星を同時に撮影することのできるような適当な露出が得られる見込みがある。

④ 皆既日食の撮影に非常に有利であり、1 回の露出でプロミネンスから外部コロナまでを同時に記録することができる。

⑤ 重要な観測であって、しかも適正露出が不明であるような場合には、XRフィルムを用いるならば、よほどの見当違いがない限り、露出の失敗をさけることができる。

⑥ 第 3 層 (低感度層) の解像力が普通の黒白フィルムよりかなり劣るのが欠点である。本来、この第 3 層は低感度の微粒子乳剤層であり、階調度もガンマが 1 程度は充分にあるのであるから、普通ならば解像力は 100 本/mm 以上の性能となるはずであるが、XRフィルムに

おいてはこの層が最下層におかれているために、上側の2層における光滲の影響によって、第3層の実効解像力が30本/mm程度に悪化することになるものであり、これはこのフィルムの本質的欠点である。

⑦ 自家現像がやや面倒であること。XRフィルムは現在の一般用カラーフィルムと同じような重層式発色フィルムであるから、現像は普通の黒白フィルムの場合に比べて多くの手順を要する。この発色現像はコダック社のコダカラーフィルム用の指定処方C-22を用いることになっていて、1回の現像において、現像浴—停止浴—硬膜浴—水洗—漂白浴—水洗—定着浴—水洗、という段階を要し、乾燥にかけるまでに少くとも1時間程度を要する。しかし現像剤はコダックからC-22処方のキットが供給されており、小規模の現像のためには500cc用のものもあるから、自分で現像することも別に困難ではない。また最近ではコダック系の現像サービス所が日本国内の各地に設けられており、コダカラーフィルムの現像を行なう所があれば、XRフィルムも同じように現像してもらえるはずである。筆者も、XRフィルムを用いはじめた当初は自分で現像を行っていたが、後にはコダック系の現像所に依頼することに

して手間を省くことができた。料金は4×5インチのシートフィルム1枚につき300円程度であるから、枚数の少ないときには、自分で現像するよりも、営業所に依頼する方が安価になるくらいである。

⑧ XR方式ガラス乾板の要望。XRフィルムは現在の所ではロールフィルムかシートフィルムかの、いずれもフィルム状のものであって、ガラス乾板のものは供給されていない。天体の位置測定用にXRフィルムを本式に用いるには、ガラス乾板のものが供給される必要があり、その実現が待たれる次第である。さらに、わが国においてもこの種の超広域露光寛容度を有するフィルムの製造が開始される必要があると痛感する次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) W.P. Boquist, Astronomical Photography with the New XR Film; Sky And Telescope, January 1964, p. 12.
- (2) C.W. Wyckoff, An Experimental Extended Exposure Response Film; S.P.I.E. Newsletter June-July 1962, p. 16.
- (3) 広瀬秀雄, 月の位置の写真観測; 天文月報, 1954年9月, p. 131.

## 月刊天文ガイドの最新臨時増刊号

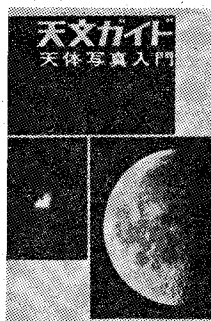
御注文はお近くの書店  
または本社へどうぞ

### イケヤ・セキ 彗星写真集

定価250円 予24円

世紀の大彗星の全貌を、発見者の池谷・関岡氏、全国のアマチュア天文家、東京天文台、スミソニアン天体物理観測所等の協力を得て、白黒写真82枚、カラー5枚に精選した天体アルバムです。見て楽しむ写真集というだけでなく、発見当時のスケッチやこの特異な彗星の運動のくわしい解説も加えたもので、資料としても完備な内容を持ち、長く保存する価値ある写真集です

東京都千代田区神田錦町1-5



### 天体写真入門

定価400円 予24円

学校天文班、アマチュア天文家の方々にできるすべての天体写真のとり方を1冊におさめました。執筆者は天文台の専門家、ベテランのアマチュア観測家25氏によるすばらしい顔ぶれです。

〈内容〉天体のカラー写真、日周運動を写す、星空の撮影、月の撮影、太陽の撮影、惑星の撮影、変光星の撮影、彗星・流星の撮影、感光材料、増感現像その他多数

誠文堂新光社 振替東京6294番