

光学器械を使う人のために

—第7回 レンズのなかの像も役に立つ—

吉田 正太郎*

7-1 映写機の光学系

屈折望遠鏡の対物レンズも反射望遠鏡の主鏡も、天体の実像を空中に作ります。写真レンズや投影レンズも、実像は空中にできています。顕微鏡も同じです。

このように見えてくると、像がレンズ内にできてしまっ
ては役に立たないようですが、そうではありません。

図40はスライド映写機の光学系の原理です。光源から出た光束は、集光レンズによって、投影レンズのなかに集められますが、照明光束のなかにスライド原板を置けば、投影レンズによってスクリーン上に像が投影されます。すなわち、光源の実像は投影レンズ内にできていて、そのことが役に立っています。

図41は新式のスライド映写機の光学系の例、図42はOHP(オーバーヘッド・プロジェクター)の光学系の例です。非球面レンズを使って照明光を明るくしたり、フレネル・レンズを使ってスペースを節約したり、自動焦点調節機構を取り入れたり、いろいろな改良が見られますが、いずれの場合も「投影レンズのなかに光源の実像ができている」という原理は同じです。

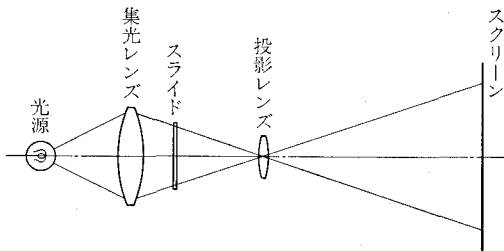


図40 スライド映写機、引伸機の原理

7-2 F2 カセグレン・カメラ

彗星や散光星雲のような、ひろがりを持った淡い天体を写真撮影するには、F数の小さい光学系が必要です。シュミット・カメラを使ったり、補助レンズを付けて焦点距離を短かくすれば、ある程度までF数を小さくできますが、スケール(1月号参照)が小さくてこまることもあります。また、単色光で撮影するときは干渉フィルターなどが必要ですが、これらは製作できる口径に限界

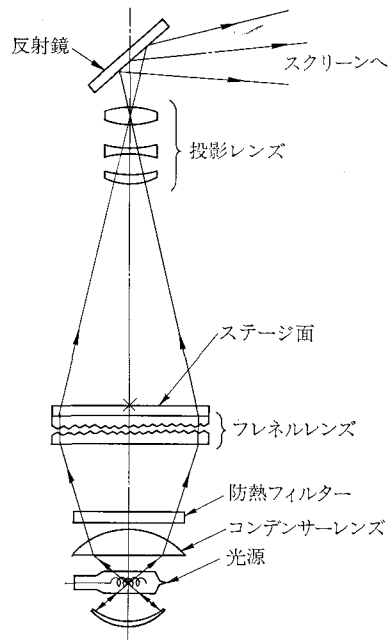


図42 OHPの光学系

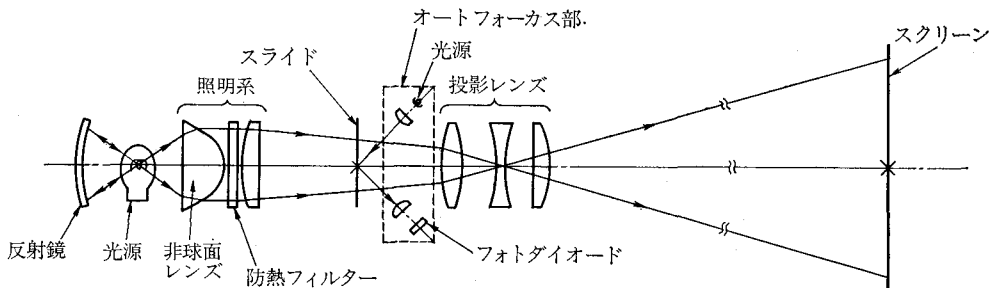


図41 スライド映写機光学系

* Shotaro Yoshida

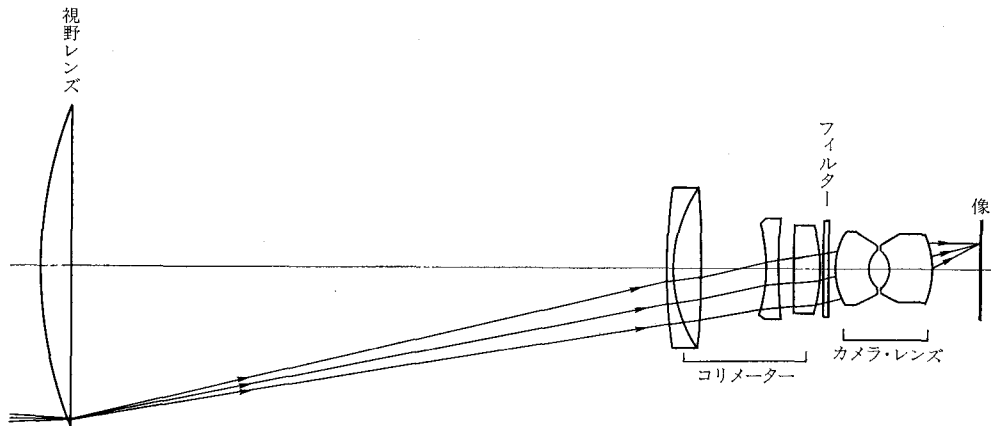


図 43 F2 カセグレン・カメラ

があります。

ヤーキス天文台の A. B. Meinel は 1956 年に、パーキン・エルマー社の援助を得て、マクドナルド天文台の 82 インチ反射望遠鏡 (口径 208 cm, 主鏡 F4, カセグレン F13.6, クーデ F20.3, 完成 1939 年) のカセグレン焦点に、図 43 のような光学系を接続して、淡い H II 領域などの撮影に成功しました。

光は左側から入射します。左端の平凸レンズは視野レンズ (field lens) で、その平面側をカセグレン焦点面と一致させると、色収差やコマの発生を最小限度におさえることができます。

視野レンズの直径は、利用したい視野の広さによって定まります。この例では焦点距離 28.3 m, 視野の直径 20' ですから、視野レンズの直径を 165 mm (6.5 インチ) にしました。視野レンズを通った光束はコリメーター・レンズによって平行光束 (光軸に平行とは限りません) となり、フィルタを通してカメラに入ります。カメラはライカで、レンズはズミクロン F2 でした。

カセグレン望遠鏡、視野レンズ、コリメーター・レンズ、カメラ・レンズの全部を合成すると、口径 208 cm, 焦点距離 416 cm, F2 の効力があるわけです。これは世界最大のシュミット・カメラにまさる性能です。

視野レンズによって、主鏡の実像がフィルタのところになりますから、主鏡に入射するすべての光線が、フィルタにはいります。

H. A. Abt は図 43 の装置に RG2 フィルタを使って、さそり座南部の H II 領域を見事に撮影しました。また、この装置をヤーキス天文台の 40 インチ屈折望遠鏡の焦点面に接続して、ペルセウス h 星団をフィルタなしで撮影しました。6月号に記したように、この対物レンズは口径 102 cm, 焦点距離 19.35 m, F19 ですから、視野レンズの直径は角度の 30' に相当し、全系は F3 になります (A. B. Meinel: Ap. J. 124, 652, 1956 年)。

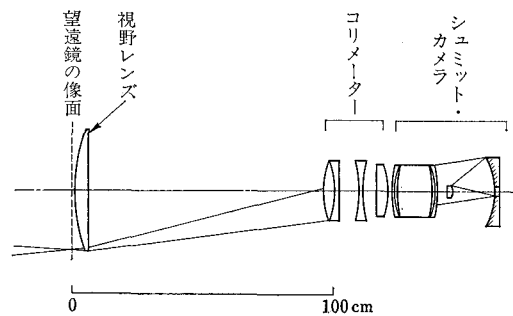


図 44 フォーカル・レデューサー F1

7-3 マルセイユ天文台のフォーカル・レデューサー

1964 年にマルセイユ天文台の G. Courtès らは、オート・プロバンスの 77 インチ反射望遠鏡 (口径 193 cm, ニュートン式主焦点 F5, カセグレン F15, クーデ F30, 完成 1958 年) の主焦点に図 44 の装置を接続して、いろいろな H II 領域を観測しました。彼らはこれを *reducteur focal* と命名しましたが、原理は図 43 と同じです。しかしニュートン焦点を使ったので視野が広く、干渉フィルタが発達して幅 0.4 nm という狭い透過帯が可能になり、カメラには F1 のシュミット系を採用しました。アンジエニュー社の F0.95 (フランス特許 BF 1.419.815, 1964 年) の写真レンズも用いました。主鏡の焦点距離が 965 cm ですから、1°12' の視野が直径 20.2 cm に相当し、これが視野レンズの直径です。

主鏡は F5 ですから、コリメーター・レンズとして F5 のテッサーを用いました。テッサーの像面が視野レンズとほぼ一致するように、逆向きに入れます。

視野レンズによって、主鏡の実像が、テッサー・レンズのところになって、これが射出瞳 (シャジュツ・ヒトミ) になります。しかしその直径はテッサーの口径で絞られて、直径 10 cm です。干渉フィルタでも、カメラ・レンズでも、口径 10 cm 以内のものは使うことが

できます。

7-4 M33 の H II 領域の観測

1974 年に J. Boulesteix ら 5 名は、上記の装置を使って本格的に M33 (さんかく座の大星雲) を掃査し、369 個の H II 領域の目録を作製しました。干渉フィルターの大きさの制限のために、視野の直径は 50' でした (A.A. 337, 33, 1974 年)。

G. Courtès ら 5 名は最近さらにソ連ゼレンチュクスカヤの 6 m 望遠鏡 (口径 6 m, 主焦点 F4, ナスミス F30, 完成 1976 年) の主焦点にフォーカル・レデューサーを取り付けて全系を F1 として使用し、 H_{α} 光線で M33 の全域を詳細に調べなおして、合計 748 個の H II 領域の目録を発表しました (A.A. 174, 28, 1987 年)。

主鏡が F4 なので視野レンズとコリメーターは新しく製作し、直径 15 cm, 透過幅 3.5 nm の干渉フィルターを使い、コダック 103aE フィルムで露出時間は 2 時間ないし 3 時間でしたが、単色光ですからカブリません。視野の直径が約 20' なので、10 枚の写真で M33 をカバーしています。観測は 1979 年から 1985 年まで、いつも秋に行なわれました。

フォーカル・レデューサーを使った観測については、Vistas in Astronomy 14, 81~161, (1972 年) に詳細な説明があります。

7-5 散光星雲は赤か緑か

H II 領域を H_{α} 光線で撮影する話に関連して、アマチュア天体写真家の皆さんにコメントしておきたいことがあります。

私は仙台天文同好会を多年やっていますから、一般市民の天体観望会に参加する機会もあります。望遠鏡でオリオン大星雲を子供たちに見せると、「なんだ、赤くないや」という答をよく聞きます。みんな天文雑誌などで散光星雲の赤い写真を見なれていますから、そういう先入観があるのです。

オリオン大星雲 M42, ばら星雲 NGC 2237~46, 干潟星雲 M8, Ω 星雲 M17, 三裂星雲 M20 などは、アマチュア天体写真の絶好の題材です。これらの天体をカラー・フィルムで撮影した写真が、毎月の天文雑誌を飾っています。しかし、このような星雲写真は、望遠鏡を使って眼で見る緑色をおびた幻想的な星雲のイメージとは、まったくちがっています。

これらの散光星雲は H II 領域ですから、もちろん水素の光も出しています。しかし星雲の光は赤い H_{α} ばかりではありません。スペクトル線の比強度を調べてみると、強度 340 の H_{α} (赤, 波長 656 nm) のほかに強度 100 の H_{β} (青, 486 nm) があり、O III (酸素の第 2 イ

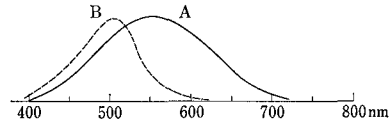


図 45 肉眼の比視感度曲線

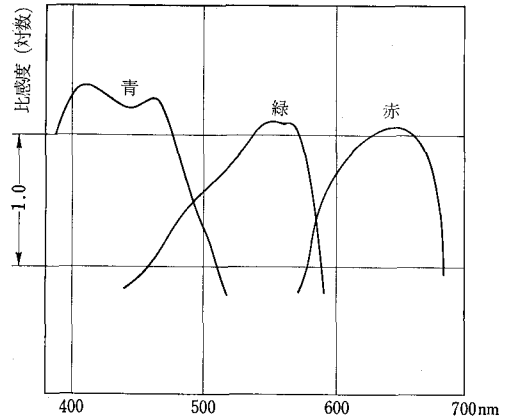


図 46 カラー・フィルムの分光感度

オン化原子) の波長 500 nm 強度 340, 波長 496 nm 強度 112 も出ています。眼で見る星雲の神秘的な輝きは、これらの緑色によるのです。

ところで、肉眼にしても写真感材にしても、すべての色を同じ強さで感じるわけではありません。図 45 の A 実線は、昼の明るい所での肉眼の比視感度曲線で、555 nm 付近の黄色がいちばん敏感です。B の点線は、うす暗いときの比視感度で、505 nm 付近が最敏感です。

いっぽう図 46 は、ふつう使われているカラー・フィルムの分光感度曲線です。これはフジ・カラー・スーパー HR 200 の例で、富士写真フィルム株式会社がデータ・シートとして公表しているものです。 H_{α} 付近は非常に敏感ですが、490 nm 付近と 580 nm 付近は、あまり感光しません。しかも、この図の縦軸は対数目盛ですから、実際の落ち込みはもっと甚しいのです。これでは H_{β} も O III も写るはずがありません。

みじめなのはカラー・フィルムで撮影した対物プリズム・スペクトル写真です。赤と緑と青が、バラバラに分かれています。

散光星雲が赤く写るのは、カラー・フィルムの赤に対する感度が、あまりに強すぎるからです。

アマチュアで口径 30 cm 以上の反射望遠鏡を持っている人も大勢います。アポクロマートやフローライト (螢石) など、ほとんど完全色消に近い高価な対物レンズも広く普及しています。このように高級な機材を使って、眼には緑色に見える散光星雲を赤く写すとは、どういことなのでしょう。「これも一種のフォールス・カラーさ」と言ってしまうまでもありますが。