

光学器械を使う人のために

—第 1 回 焦点距離のはなし—

吉 田 正 太 郎*

1-1 まえがき

大小いろいろな望遠鏡や双眼鏡をはじめ、カメラ、スライド投影器、座標測定器、光度計、さらにはプラネタリウムなど、光学器械は天文の研究、教育、普及、ないしは趣味と深く関係しています。

筆者も光学器械とは深いかわりを持っています。私は戦前は天文教室で観測をし、戦中は陸軍造兵廠でレンズを研磨し、戦後は大学で光学器械と応用光学を講義するとともに非球面レンズを研究していました。また、多くの会社から依頼されて約 40 件の光学設計を完成しましたが、そのなかには全天映画の投影レンズ、歪曲の少ない大型投影レンズ、眼を検査するスリット・ランプ、客観的に眼の屈折力を測るレフラクトメーター、白内障用メガネ、超遠心機で重力の 40 万倍以上の加速度をかけた高分子物質を光学的に分析する装置、光ディスク読込読出し系、電子回路製作の解像力の高い光学系などがあります。

世界各国まだどこでも成功していない先端技術を開発するのは、ほんとうにおもしろいものですが、それには物知りのよせ集め知識はあまり役に立ちません。光学系の基本的な性質を、しっかり身につけておくことのほうが大切なようです。

このような経験をふまえて、これからしばらく、光学器械を使うときに知っておくほうがよいと思われる事項のいくつかを、なるべく実例を使って説明していくことにしましょう。

1-2 焦点とは

たとえば図 1 のように、光軸に平行な光束（光線のタバ）が左側（物体側）からレンズ系に入射すると、各面で実線のように屈折して、後側焦点 F' に集まります。

つぎに、このレンズ系の右側から、光軸に平行な光束が入射するときは、図 2 のように前側焦点 F に集まります。

このようにレンズ系には前側焦点と後側焦点と、ふたつの焦点があります。

いま引用した図 1、図 2 のレンズは、1961 年にゲッチンゲン大学の R. ソリッが特許を得た (U.S.P. 2991696 Ex. 2) 写真レンズです。簡単な構造で $F1.25$ の明るさを達

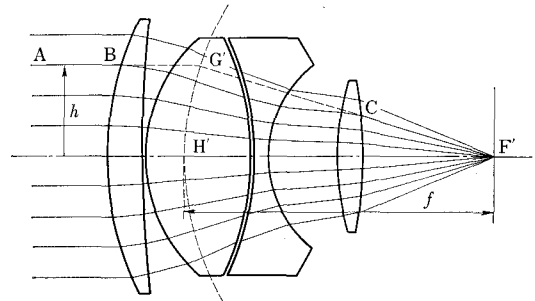


図 1 表面から入射する光線
 H' が後側主点
 F' が後側焦点
 f が焦点距離
 h が入射高

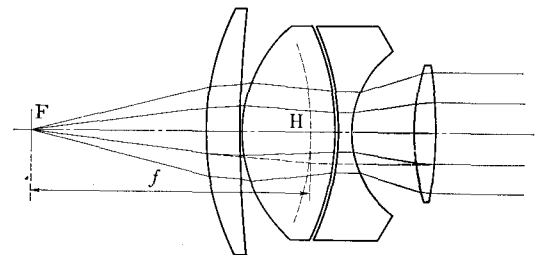


図 2 裏面から入射する光線
 F が前側焦点
 H が前側主点
 f が焦点距離

成した、非常にユニークな設計です。

1-3 焦点距離の定義

メガネのレンズのような、うすいレンズなら、レンズから焦点までの距離を焦点距離と考えても、実用上さしつかえありません。しかし、厚いレンズや、それを組み合わせた光学系の場合は、正確な定義が必要です。

図 1 において、光軸から h だけ離れた光線 AB は、レンズの各面でつぎつぎに屈折してから、最後の面の C 点から出て、後側焦点 F' で光軸と交わります。このとき、 AB を右に延長した直線と、 $F'C$ を左に延長した直線との交点を G' とします。

このようにして、いろいろな h に対して G' 点の位置を求めて、これをつぎつぎに結んでいけば、図に点線でしめしたような曲線が得られます。この曲線を光軸のまわりに回転させたものを後側主（要）面といい、主面と

* Syotaro Yoshida

光軸の交わる点 H' は後側主点です。

そうして、後側主点 H' から後側焦点 F' までの距離を後側焦点距離と定義するのです。

平行光束を右側(像側)から入射させた図2の場合も、定義のしかたはまったく同じで、前側焦点 F と前側主点 H との距離が前側焦点距離です。

焦点距離は近軸光線 (h がごく小さい部分) だけで定まることに注目しておきましょう。

空気中にある光学系では、前側焦点距離と後側焦点距離とは相等しいことが証明されるので、ふつうこれを単に焦点距離といい、 f と記します。

1-4 焦点距離と「スケール」

図3のように、光軸と小さな角 α だけ傾いた平行光束が、焦点面上の、焦点から y だけはなれたところに着像するとします。このとき、つぎの関係があります。

$$y = f \cdot \tan \alpha \quad (1)$$

この式でわかるように、非常に遠方にある物体(または天体)の像の大きさは焦点距離 f に正比例します。これが焦点距離の大切なところです。

たとえば太陽の視半径は平均 $15'59.6$ ですから、焦点距離 1 m のレンズまたは反射鏡の焦点面に半径 4.65 mm の像ができます。月の平均視半径は $15'32.6$ ですから、焦点距離 1 m のときに、月の像の半径が 4.52 mm です。ただし月の距離は時によって平均値の 0.928 倍ないし 1.058 倍くらいの範囲で変動していますから、正確な視半径は天体暦で調べなければなりません。

大きな望遠鏡対物レンズなどの焦点距離は、(1)式を応用して直接に決定するのがふつうです。恒星間の角距離 α は星表でわかり、原板上の星像の位置は座標測定器で測るわけです。

測量写真用のレンズの焦点距離は、セオドライトで角距離を検定してある目標物を撮影して、 0.02 mm くらいまでの精度で決定します。これも式(1)の応用です。

天体の位置測定に使う望遠鏡などでは、焦点面の 1 mm が角度のなん秒に当たるかを「スケール」としてしめすこともあります。これは 206264.806 を焦点距離 mm で割った数字です。「スケール」は $f \sin 1''$ の逆数

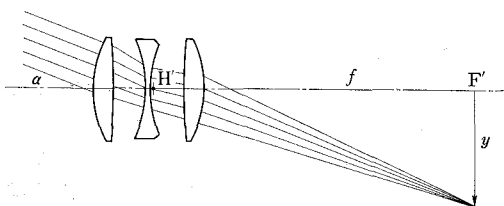


図3 焦点距離を測定する原理。 $f = y \div \tan \alpha$ ですから、 y と α を測れば f がわかります。

といってもよいのです。

焦点距離を測るには、まず正確にピントを合わせる必要がありますが、このとき光学像には必ず焦点深度があることに注意しなければなりません。観測者の視力、光学系の収差、光波の回折、写真感材の粒状性などのために、最小の星像でも直径は有限だからです。

レンズの焦点距離は温度と気圧によって変化するので、大型の航空写真用レンズなどでは、その調整装置が付いているものもあります。屈折率の温度係数は光学ガラスの種類によって異なるばかりでなく、空気の屈折率も変わります。写真レンズのなかには、レンズ間の空気層を「空気レンズ」として収差補正に利用しているものさえあります。精密な焦点距離または「スケール」の値には、測定時の温度と気圧を明示すべきでしょう。

1-5 接眼鏡の焦点距離

図4はケルナー接眼鏡の一種です。上半に左側(物界)から入射する平行光束が後側焦点 F' に集まるようすを、下半に右側(像界)から入射する平行光束が前側焦点 F に集まるようすを描いてみました。

図5はオルソスコピック接眼鏡の一例で、これも上半は物界から入る光束を、下半は像界から入る光束を描きました。

眼にいちばん近いレンズ面から F' までの距離は、図4のケルナー接眼鏡で $0.485f$ 、図5のオルソスコピック接眼鏡で $0.780f$ です。この距離が短いと、マツゲがレンズに触れて観測しにくくなります。オルソスコピック接眼鏡が高倍率に適しているのは、ひとつにはこのため

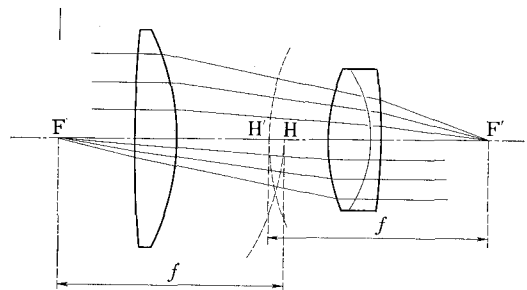


図4 ケルナー接眼鏡

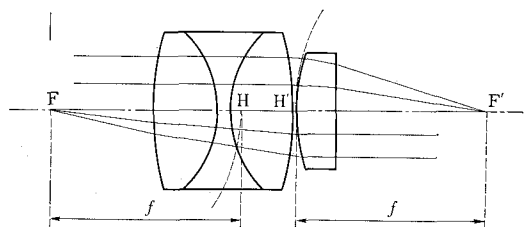


図5 オルソスコピック接眼鏡

です。

ところで、焦点距離の実際の精度について少し記しておきたいと思います。カメラの交換レンズは、どのカメラと組み合わせてもピント面が同じでなければなりませんから、焦点距離の値はかなりそろっています。また、このようなレンズは自動化された生産ラインで、おもにダイヤモンド・ツールを使って量産しますから、品質もそろいます。

ところが天体望遠鏡の接眼鏡は小量生産ですから、オートメ化できません。このような小口径レンズでは研磨皿の磨耗が激しいので、設計値と異なる球面に仕上がるこ

ともあり、メーカーによっては製品の性能にかなりのバラツキがあるのが実情です。

参 考 書

- 久保田 広：光学，岩波書店，1964年
- 久保田，浮田，会田 編：光学技術ハンドブック増訂版，朝倉書店，1975年
- 吉田：天文アマチュアのための望遠鏡光学，誠文堂新光社，1978年
- 吉田：カメラマンのための写真レンズの科学，地人書館，1979年
- 吉田：よくわかる天体望遠鏡，地人書館，1981年
- 吉田：レンズとプリズム，その研磨の実際，地人書館，1985年
- 小瀬，斉藤，田中，辻内，波岡 編：光工学ハンドブック，朝倉書店，1986年

NEWS

林 忠四郎氏に文化勲章

政府は、11月3日、今年度の文化勲章受章者5人と文化功労者10人を発令した。その中で本会々員の林 忠四郎氏（文化勲章）と小田 稔氏（文化功労者）が受章されました。

林 忠四郎氏は、宇宙物理学の研究の中で、特に星の一生を理論的な計算により追求し、『林フェーズ』と呼ばれる星の輝く時期を発見した。その業績は国内外から

極めて高く評価されている。（現在、京都大学名誉教授）

文化功労者に小田 稔氏

小田 稔氏は、X線天文学観測装置『すだれコリメーター』を開発し、天体のX線源の位置や大きさの測定精度を格段に向上させた。これによって幾多の新知見・成果を齎らし、画期的な発明として国内外から高く評価されている。（現在、東京大学名誉教授、宇宙科学研究所所長）

両氏は、これらを含めたいままでの業績に対して顕彰されたものです。

天体観測専門誌

天文ガイド

2月号 定価450円+85 12月26日発売！

ニュー・フェーズ・テストレポート
小型軽量 βプラズマ

アマチュア天文研究発表大会でみごと下保奨励賞受賞！
「JJY同期信号発生器について」

南政次さんの観測報告
今回の（'86年春）火星の接近

ハレー彗星シンポジウムに参加した天文学者の方々より
日本の天文ファンへのメッセージ

天体の温度を考える：第2回
赤い星青い星

- コンピュータ・セミナー●ぱとろーる
- とびっくす●質問ルーム…など情報満載！

新刊案内

天文年鑑1987

ポケットサイズのB6判 定価520円
ワイド版：見やすいB5判 定価1000円

入門スターウォッチング

全天星座図、ミニ星座早見、星座カード、解説書がワンセット！ ●藤井旭／構成 定価1200円

星空ガイド1987

見開き2ページでひと月ごとの夜空を紹介するカレンダー。●藤井旭企画・構成 12月下旬刊 定価690円

新透視版星座アルバム

●秋冬編 写真やイラストを新たにした、ファン待望の新版。 ●藤井旭著 12月下旬刊 予定価2500円

誠文堂新光社

東京都千代田区神田錦町1-5
電03(292)1221 振替東京7-128