

光学器械を使う人のために

—第4回 望遠鏡のいろいろな使いかた—

吉田 正太郎*

4-1 近い物体を見る望遠鏡

天体望遠鏡や双眼鏡は、おもに遠い物体の観察に用いますが、物体が近いときには対物レンズと接眼鏡の間隔を伸ばしてピントを合わせます。至近距離（ピントを合わせることのできる最近距離）は、鏡筒部の構造しだいですが、たとえば動物園の象やライオンを10倍のプリズム双眼鏡で観察するのは簡単ですが、温室のなかの蛇やカメレオンを見るには、もっと低倍の双眼鏡でないといふことが合いません。

物体が近いと、対物レンズに入射する光束が平行光束でなくなって、それでピントが合わないのですから、対策としては、物体と望遠鏡の間に凸レンズを1枚入れればよいのです。

近い物体を見る光学器械の例として、図19に手術用顕微鏡のひとつをしめします。光源1を出た光束は、レンズ2によってほぼ平行になり、大きな第1対物レンズ3を通して、物体4を照明します。このような照らしかたを同軸照明といいます。

いっぽう観察系では、物体4から出た光束が第1対物レンズ3で平行になり、ズーム変倍系5、ビーム・スプリッター6を経て、第2対物レンズ7、45°俯視プリズム8、正立プリズム9、接眼鏡10を通して、観察者の眼に達します。7から10まではプリズム望遠鏡ですが、これは同じものが2組、左右平行に入れてあって、双眼で観察します。

ズーム変倍系は平行光束のなかに置かれていることに注目して下さい。

レンズはいろいろな焦点距離のものを交換して使うこともでき、一般用としてその焦点距離200mm、接眼鏡15mmの場合に、総合倍率6倍ないし40倍くらいがふつうです。レンズ3から物体までの距離は作動距離といい、図の構造では焦点距離とほぼ等しくなります。眼科用で12cm内外、外科用で20cm内外、婦人科用で25cm内外、耳科用で40cm内外など、いろいろです。

ピント合わせには3から上の全体を上下しますが、それには足でペダルを踏みます。ズーム変倍の操作も足です。接眼鏡はヒトミ距離15mm以上のハイ・タイにしてあって、メガネを掛けたままで全視野が見られます。術者は消毒した手で、手術に専念できるわけです。

なお、第2対物レンズ7'は、ビーム・スプリッターで分けた光を外に導いて、助手が観察するときに使いますが、これは単眼です。

もっと手軽に、ふつうのプリズム双眼鏡で、昆虫とか花とか小さな機械部品などの立体視を楽しむこともできます。図19の光学系から1, 2, 5, 6, 8を取り去ったものと考えればよいでしょう。これはカール・ツァイス社（西ドイツ）の双眼鏡カタログにも記載されていますが、自作することもできます。収差補正の関係で、レンズ3は凸側が双眼鏡のほうに向くように置きます。双眼鏡の倍率を m 、レンズ3の焦点距離を f mmとすると、総合倍率は $250m/f$ です。

4-2 弱視レンズ

学校保健法では「目の疾病にかかわらず、両目の眼鏡矯正視力が0.04以上、0.3未満」の人を弱視というそう

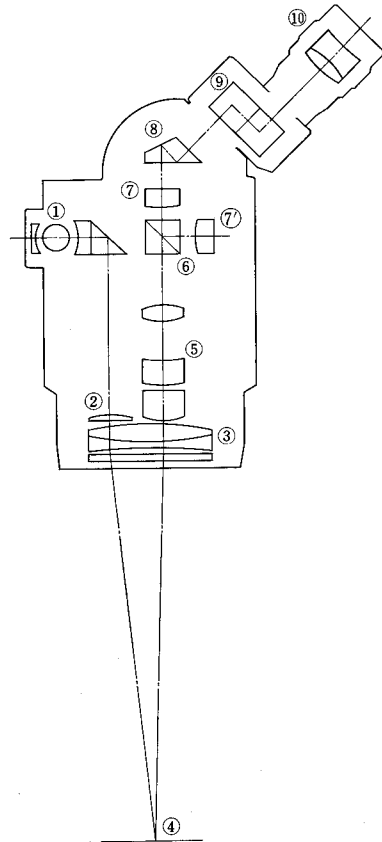


図19 手術用顕微鏡の光路の例

* Shotaro Yoshida

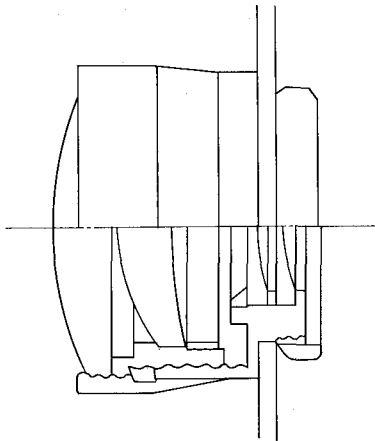


図 20 遠用弱視レンズ

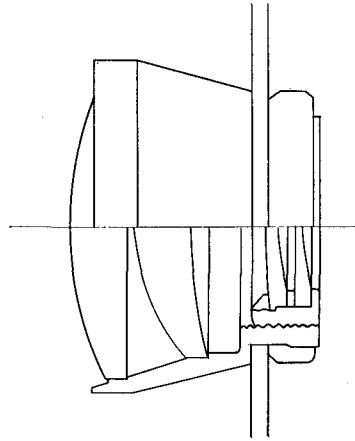


図 21 近用弱視レンズ

ですが、そのような人が軽い望遠鏡をメガネとして掛ければ、かなり助かることは明らかです。

図 20 はその遠用眼鏡で、これは倍率 2 倍のガリレオ式望遠鏡です。前方の 2 枚の凸レンズはプラスチック製、後方の 2 枚の凹レンズは光学ガラス製です。

図 21 は近距離用で、対物レンズを交換して 3 倍、5 倍、8 倍などにできます。弱視の人が新聞や本を読むときに使います。

健康眼の人もこれを使えば手術や細工などに便利です。軽くて明るいという要求から、どうしてもガリレオ式になりますが、倍率の 2 乗にはほぼ反比例して視野が狭くなります。私も 5 倍まで設計しましたが、使って便利なのは 2.5 倍内外のようです。キラー社（イギリス）の製品が有名です。

4-3 望遠鏡をさかさのぞく

倍率 m 倍の望遠鏡をさかさのぞくと、倍率 $(1/m)$ 倍の望遠鏡の作用をします。

図 22 は、この原理を使って倍率を切り換える「ディプロスコープ」という手術顕微鏡です。第 1 対物レンズ L を通って平行になった光束が、変倍系を経て、正立像の望遠鏡で観察されます。図の左右は対称で、それぞれ

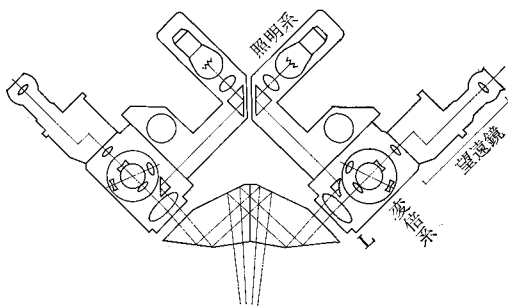


図 22 ディプロスコープの光路

双眼式です。術者と助手の同時観察、または、いっぽうに TV カメラを接続して臨床講義に使えます。変倍系には 2 組のガリレオ式望遠鏡が組み込まれていますから、合計 5 種類の倍率が得られます。このように、ガリレオ式望遠鏡を平行光束内に入れて総合倍率を変える方法は、ドラム変倍式といえます。

たとえばツェイス社（西ドイツ）の製品では、第 1 対物レンズの焦点距離 320 mm、接眼鏡 12.5 倍のとき、総合倍率 2.6 倍、4.2 倍、6.6 倍、10.5 倍、17 倍が得られます。頭部プリズムが大きいので、作動距離（プリズム下面から手術野までの距離）は 150 mm です。この器械も、照明光が L を通る同軸照明です。

常識的には図 19 のズーム変倍式のほうが便利のように見えますが、ユーザーの評価は必ずしもそうではなくて、クリチカルな観察にはドラム変倍式のほうが良いともいいます。ズーム・レンズは一般に、最高倍率の少し手前と、最低倍率の少し手前と、2 カ所で最良の像が得られるように収差補正するのが光学設計の常識とされており、またズーミングによる光軸のブレも起こり得るわけです。

なお医用光学器械には、ファイバースコープ、胃カメラ、スリット・ランプ、レフラクトメーター、眼底カメラ、オフサルモメーター、角膜顕微鏡、視野計、そのほか多くの種類があります。毎年春と秋の 3 回、全国のどこかで日本眼科学会の展示会が開催されますから、興味のある方は見学されるとよいでしょう。

4-4 潜望鏡

倍率 m 倍の望遠鏡と、それをさかさにした $(1/m)$ 倍の望遠鏡を、共通の光軸上に重ねればどうなるでしょうか。それでは 1 倍の望遠鏡になって、なんの役にも立たないようですが、実はこれが潜望鏡（図 23）の原理で

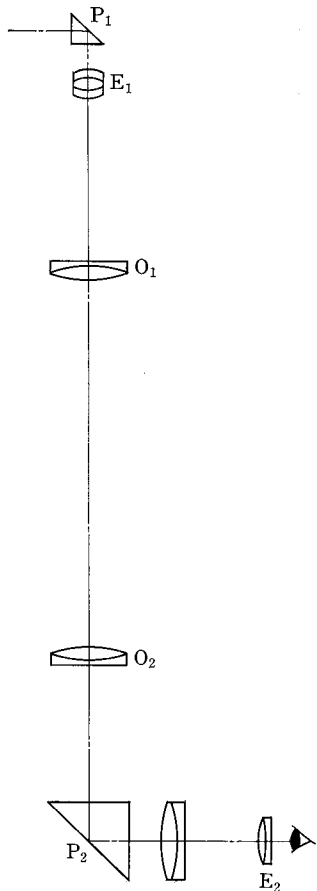


図 23 潜望鏡の原理

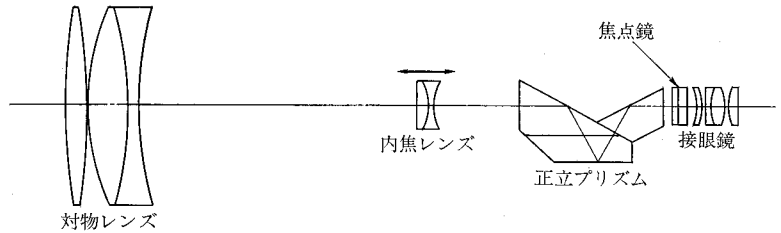


図 24 セオドライト用望遠鏡の光学系

メーカーとして有名でしたが、私が 1967 年に立ち寄ったときには原子炉用の潜望鏡を作っていました。

4-5 方向を知る望遠鏡

望遠鏡には遠方の物体を拡大して観察する機能のほかに、方向を正確に知る（または定める）という、もうひとつの大切な機能があります。

子午儀や子午環の望遠鏡、天体写真を撮影するときのガイド望遠鏡など、みなそれです。機関銃や火砲の照準望遠鏡も、測量用セオドライトやトランシットの望遠鏡も、そうです。

方向を正確に知ることが目的ですから、視界には十字線そのほかの視標（レチクル、焦点鏡）を入れ、高倍率の接眼鏡を使います。暗い星でガイドするときには、星が線にかくれないように、視標を井形にします。視野を或る程度明るく照らすほうが、心理的に安定感が増します。

ガリレオ式望遠鏡も、ハイゲン式接眼鏡も、十字線が使えなかったので、アストロメトリー（天体位置の精密測定）はできませんでした。

ところで、天体観測の場合は目標物が遠いので、ピントは、いちど合わせればほぼ一定しています。しかし測量用では近い目標物を観測するときもありますから、頻繁にピントを合わせなおします。このとき、対物レンズや接眼鏡を動かしては光軸が変動するおそれがあるので、図 24 のように内焦（内部準焦）レンズを使ってピントを合わせます。防水という考慮もあるわけです。

図 24 の対物レンズの構造に注目して下さい。視野の中央で特にシャープな像を得るために、球面収差を重点的に除去するのです。

今回は望遠鏡の利用法の例を記しました。小さな双眼鏡でも役に立ちます。さかさのぞいたり、重ねてのぞいたり、虫メガネと組み合わせたり、カメラと組み合わせたり、いろいろな実験をしてみましょう。

☆ ☆ ☆

す。

頭部プリズム P_1 から入って、 E_1O_1 という逆望遠鏡を通った光束は、つぎに O_2, P_2, E_2 という望遠鏡を通ります。 O_1 と O_2 というふたつの対物レンズ間は平行光束（光軸に平行とは限りません）ですから、いくらにしてもよく、上部と下部の倍率の分配も自由です。

潜望鏡といえば潜水艦の必需品ですが、深い壕のなかから外界を観察したり、トラックで移動できるマスト望遠鏡もあります。 P_1 から P_2 までの距離を潜望高といいますが、これが 30 m に達するものもあります。

潜水艦の潜望鏡では、頭上の飛行機でも見えるように、2 個の反射斜面を接着した特殊な頭部プリズムを用います。長大な潜望鏡では、視野の周辺部が暗くならないように、 O_2 を大きくします。

近年は原子炉内部を観察する目的で潜望鏡を使いますが、それにはレンズやプリズムを、放射線に当たっても透明度が低下しないノン・ブラウンング・ガラスで作ります。接眼鏡の見かけ視界を特別に大きくして、直径 150° という例もあります。

パリのサン・ゴバン社といえ、昔は反射鏡の鏡材の