

### 実験方法（水の屈折率の測定）

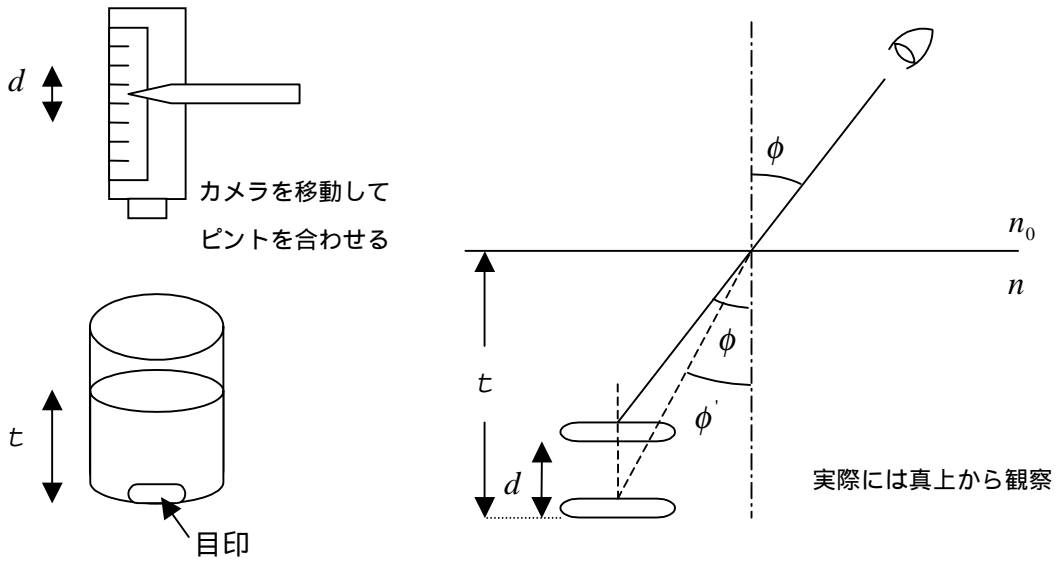


図 5-24 カメラの焦点移動による水の屈折率の測定

(水を入れる前に)ビーカーの底の目印にカメラの焦点を合わせておく。  
次にビーカーに水を注ぎ、カメラを移動して焦点を合わせる。このときの焦点のずれ（カメラの移動距離） $d$ と水の深さ  $t$ を測る。

実験値

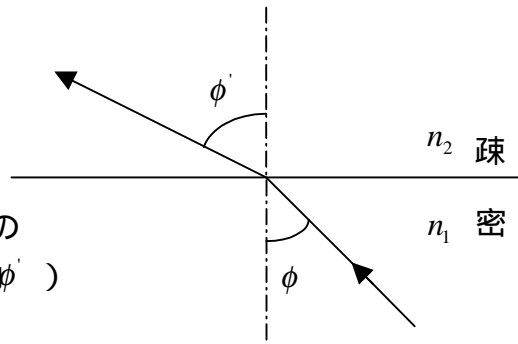
$$t = 10.7 \quad d = 2.8 \quad \text{より} \quad \text{水の屈折率は} \quad n = \frac{10.7}{10.7 - 2.8} = 1.354 \quad 1.35$$

### (2) 全反射を利用した屈折計

Snell の法則より

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \phi'}{\sin \phi} \rightarrow n_2 \sin \phi' = n_1 \sin \phi$$

光学的に密な物質 1 から疎な物質 2 への光の入射を考える。(  $n_1 > n_2$  入射角  $\phi$  , 屈折角  $\phi'$  )  
全反射を起こす臨界角  $\phi_c$  は、 $\phi' = 90^\circ$  より



$$n_{12} \equiv \frac{n_2}{n_1} = \sin \phi_c \quad \text{を満たす。}$$

(参考：水の臨界角  $48.6^\circ$  バリウムクラウンガラス  $41.2^\circ$ )  
 $\hookrightarrow n = 1.33 \quad \hookrightarrow n = 1.52$

逆に、光学的に疎な物質から密な物質へ入射する場合、図 5-25 で屈折角が  $\phi_c$  となる入射光 C より大きな屈折角を持って進む光はない。したがって、図の右側から見たとき視野の上部は暗くなるので、視野に目盛を付けておけば、屈折率を表示できる。Abbe の屈折計はこの原理を利用している。

↓  
 簡便な糖度計に応用



図 5-26 糖度計

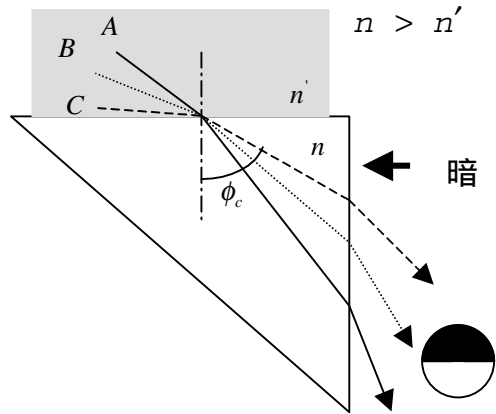
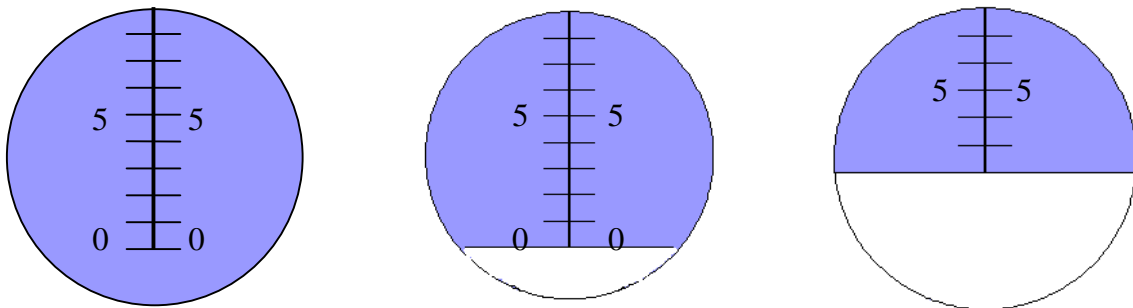


図 5-25 臨界角を利用した屈折率測定



サンプルなし

サンプル：水

サンプル：砂糖水

図 5-26 液体の糖度の違いによる糖度計の見え方

通常（サンプルなしの状態）は、視野全体がブルーに見える。糖度計にサンプルを挟むと液体の種類によって視野の一部が白くなって見える。

### 3 D) 光の屈折：プリズム

#### (1) プリズムの最小偏角

プリズムに単色平行光線を入射したとき、入射光線と射出光線のなす角( $\delta$ )を偏角またはふれの角という。入射角  $\phi_1$  を変えると偏角  $\delta$  も変化し、 $\phi_1 = \phi_2$  のとき最小値を

とる。このときの偏角を最小偏角( $\delta_{\min}$ )という。この $\delta_{\min}$ とプリズムの頂角 $\alpha$ を測ることにより、次の式からプリズムの屈折率を $n$ 求めることができる。

$$n = \frac{\sin \frac{(\alpha + \delta_{\min})}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

プリズム分光器では、注目する波長の光線が最小偏角になるようにプリズムを設置する必要がある。それは、最小偏角のとき、その波長の光に対してプリズムの分解能が最大となるほか、プリズムへの入射光線がわずかながら収束あるいは発散光束になった場合に像に非点収差が生じるのを防ぐためである。

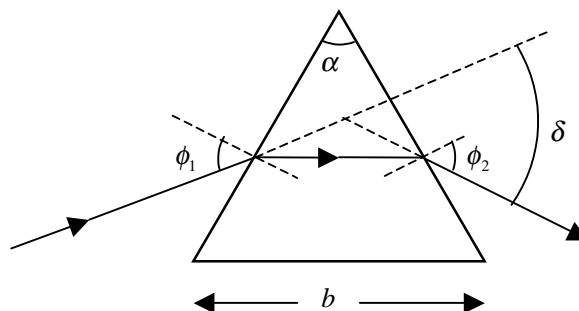


図 5-27 プリズムの最小偏角

## (2) プリズムによる光の分散

虹：雨が降った後の空気中には、たくさんの小さな球状の水滴が漂っており、この水滴がプリズムと同じような役割をして光を分散させ、その結果虹ができる。

### プリズムによる光の分散

光は空気中からプリズムに入るときとプリズムから出るときの2回屈折するが、このとき波長によって屈折角が異なるために各々の色の光に分かれて出てくる。

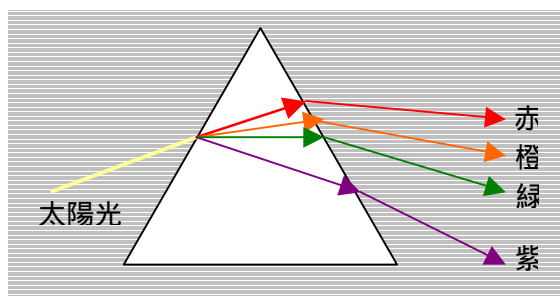


図 5-28 プリズムによる光の分散

### 虹の原理

水滴の表面で反射された光や透過光は、入射位置によって様々な方向に射出され、特定の方に強くなることはない。それに対して、水滴内部で反射して出ていく射出光は、最小偏角 $\delta_{\min}$ 近傍(図 5-30 の橙色の光線)に集中するため、虹の原因となる。

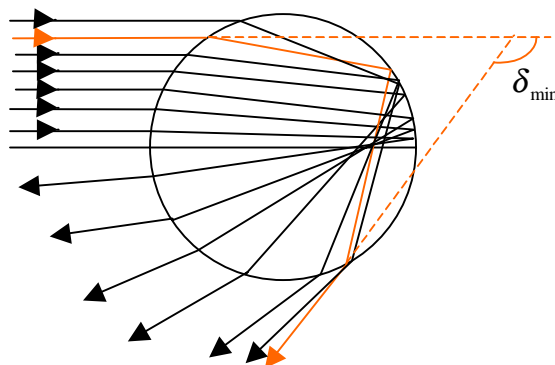


図 5-29 水滴内部で反射される光線

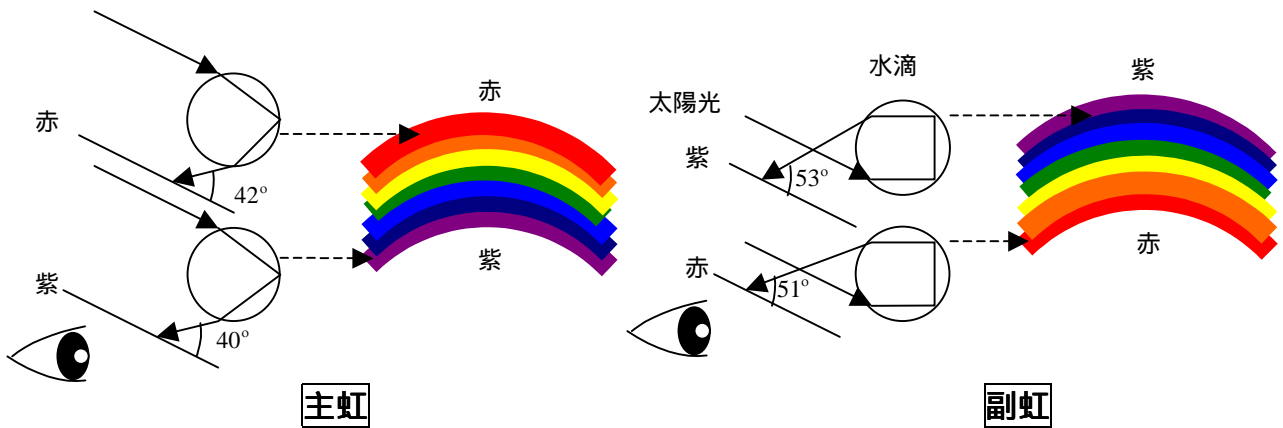


図 5-30 主虹と副虹の原理

**主虹：内側に紫色、外側に赤色**

水滴の内部で1回反射して出てきた光は、波長によって屈折率（最小偏角）が異なるため、射出光は特定の角度で強くなる。最小偏角は、赤色で138度、紫色で140度。空中に浮かんだ無数の水滴ひとつひとつでこのような屈折が起こり、虹ができる。

**副虹：色の順序が主虹と逆。**

光が水滴の中を2回反射して出てくる場合にでき、主虹の外側にぼんやり見える。

**(3) 色消しプリズム < Kent 製 >**

フリントガラスとクラウンガラスのように屈折率の異なる材質でできたプリズムを組み合わせて色消しプリズムを構成することができる。それぞれのプリズムの分散（偏角の波長による差）が同じになるように頂角を決める。これによって、白色光線の色収差なしに進行方向を変えることができる。

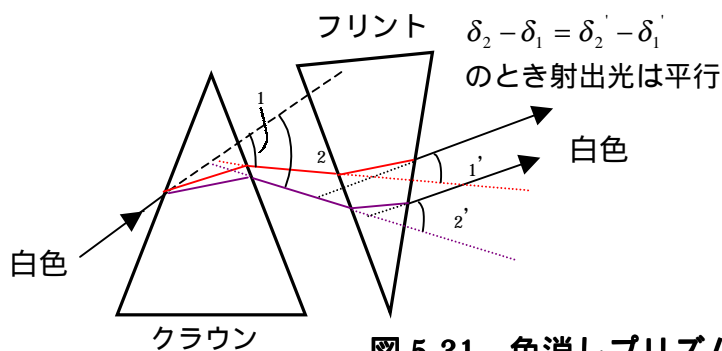


図 5-31 色消しプリズム

**3 E) 光の屈折：シュリーレン法**

シュリーレン法によって、屈折率の局所的変化を眼で見ることができる。

エーテル等の揮発性の液体をシャーレ等に入れて放置すると、液体が揮発している様子をもやもやとした影（像）として観察することができる。これは、揮発している部分は空気と密度が異なるために屈折率が変化するからである。

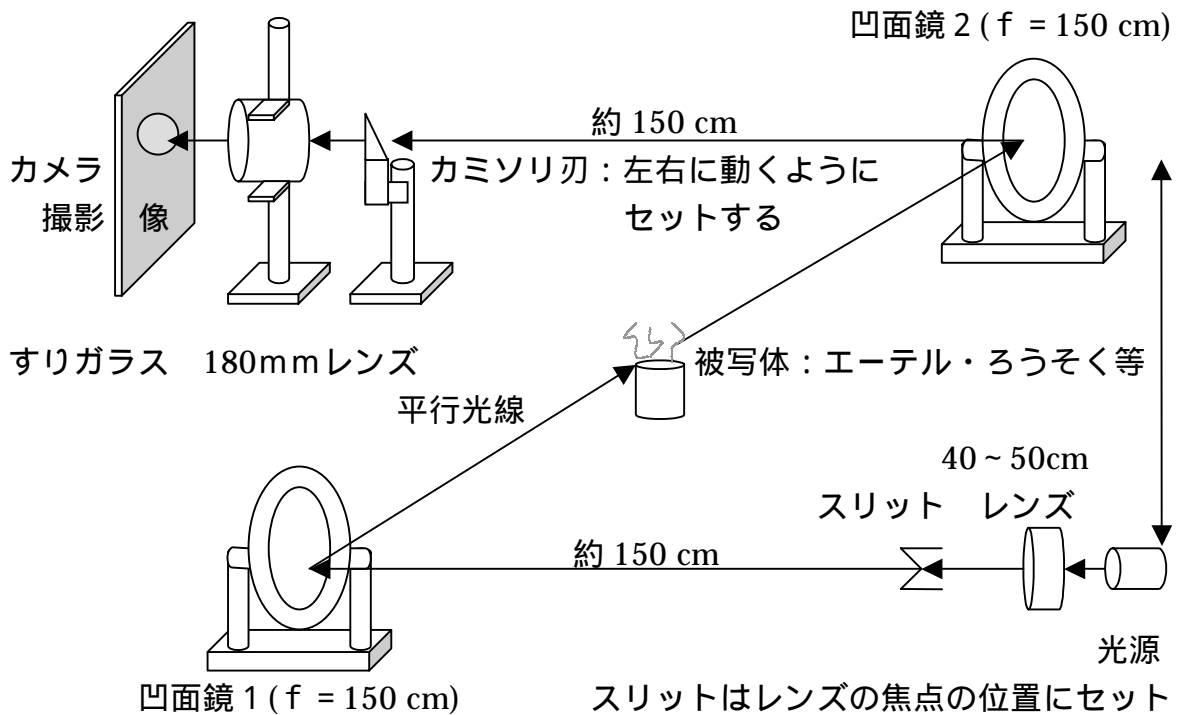


図 5-32 シュリーレン法の実験装置概要

### 実験手順

(1) 図 5-32 のように装置をセットし、すりガラスに被写体の像（倒立）を結ばせる。

カミソリ刃はない状態でセットする

(2) カミソリ刃を左右に動かして、すりガラス上に写っている像の左右が均等に暗くなる位置を見つけ、像全体の明るさが初めの半分程になるようにカミソリ刃の位置を調整する。揮発部分での屈折のし方によって、カミソリ刃で遮られる光量が変わるため局所的な屈折率の違いが明暗として観察できる。



図 5-33 実験で使用する凹面鏡

<カミソリ刃の位置の決め方> 目安としては凹面鏡の焦点距離 $f$ のあたり  
 $f$ より凹面鏡に近い場所

カミソリ刃を左右にスライドさせると、像の片側の部分だけ明暗が変化する。

$f$ より凹面鏡から遠い場所

と反対の部分が明暗の変化をする。

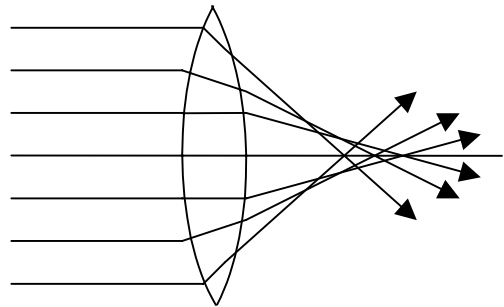
以上の性質を利用して、 と の間で左右対称に明暗が変化する場所を探す。

(3) 被写体にエーテル等を用意してピンの蓋を開けると、揮発している部分がもやもやして見える。

### 3 F ) 光の屈折：レンズ

#### ( 1 ) レンズの球面収差

レンズの周辺部を通過する光が、光軸上の 1 点に集まらないで散らばる現象。光軸に近い光は遠い位置に、光軸から遠い光は近い位置に焦点を結ぶ。球面収差は屈折率の異なる凹凸レンズの組み合わせによって修正できる。



#### 光学用実験板 ( 図 5-34 ) を用いた実験

数本の幅を持った光線を円盤に対してわずかに傾けることにより、光路を観察できるように工夫してある。写真では、凹レンズがをセットしてある。光源と円盤はそれぞれ独立して回転し、入射角を自由に変えることができる。レンズや鏡の働きを視覚的に理解するのに便利である。



図 5-34 光学用実験板 < 島津製 >

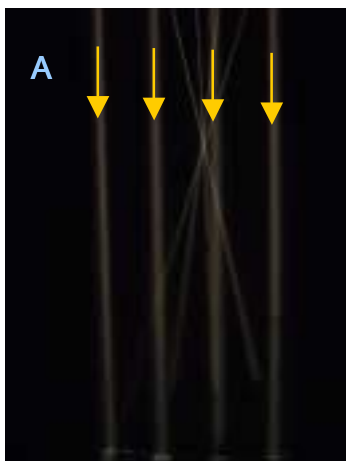


図 5-35 球面鏡を用いた球面収差の様子

垂直入射した場合 ( A ) に比べて、入射角が小さい場合 ( B ) は、球面収差が大きい。

#### ( 2 ) レンズの色収差と補正

凸レンズに白色光を照射し、スクリーンの位置を前後させると、スクリーンがレンズに近い位置では像の周囲 ( 縁 ) が赤く見え、遠い位置では青 ( 紫 ) に見える。これをスペクトルの波長による色収差という。



スペクトルの色によって屈折率が違うので、焦点距離が変化する。

プロジェクターを用いたレンズの色収差実験

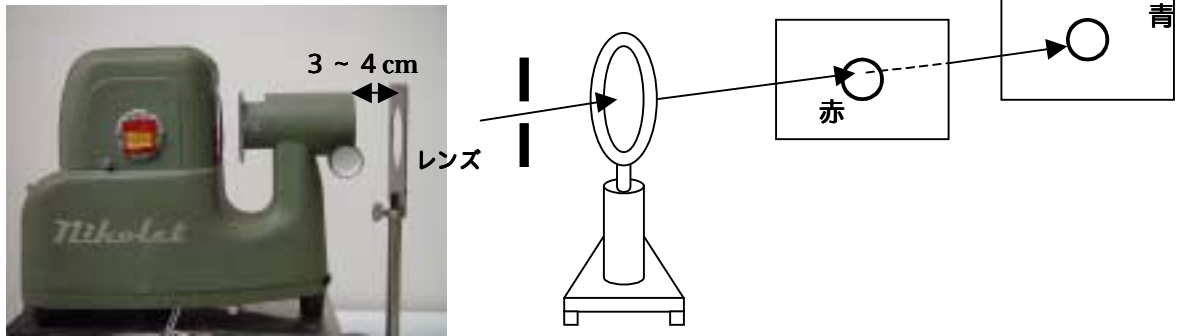


図 5-37 光源とレンズの配置

色消レンズ

色消レンズで色収差を補正すると像の周りに着色しなくなる。

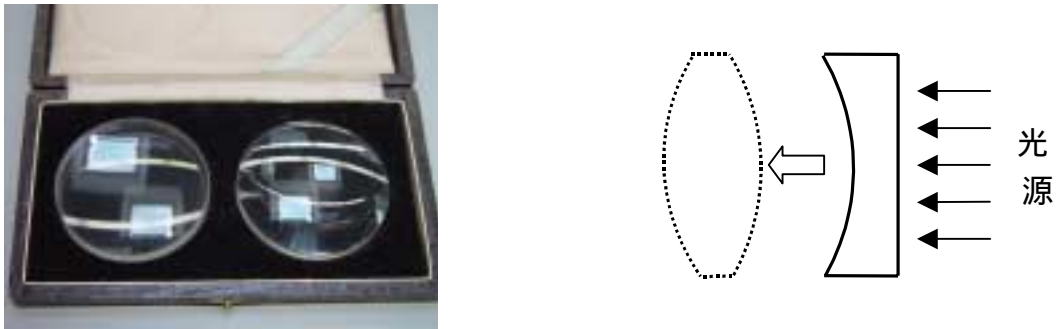


図 5-38 2枚の屈折率の異なる材質のレンズの組み合わせによる色消レンズ

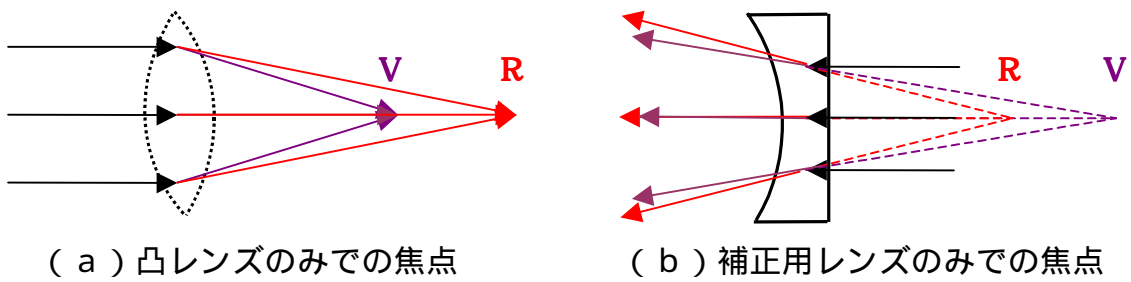


図 5-39 色消レンズの原理

### (3) レンズによる結像

凸レンズに物体(光源にセットした矢印型ホール)から光を入射したとき物体とレンズ間の距離による像のでき方について確認する。

$f_1 \cdot f_2$  : レンズの焦点距離

$p$  : 光源とレンズ間の距離

$q$  : 像とレンズ間の距離

物体(光源)と像の位置関係

$$\frac{f_1}{p} + \frac{f_2}{q} = 1$$



図 5-40 凸レンズと矢印型ホール

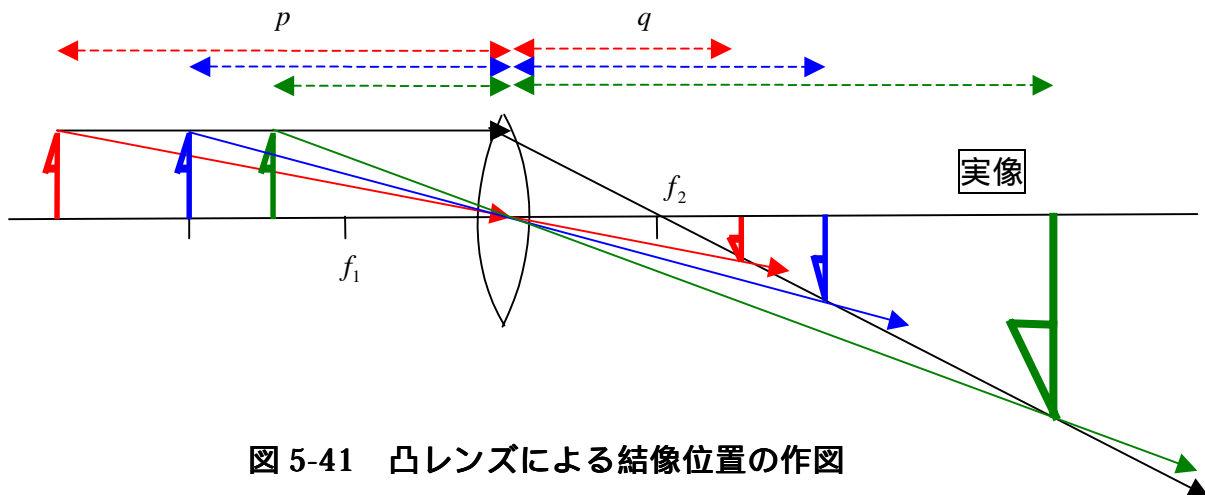


図 5-41 凸レンズによる結像位置の作図

(a)  $p > 2f_1$  のとき

$f_2 < q < 2f_2$  の位置に元の物体より小さい倒立の実像ができる。

(b)  $p = 2f_1$  のとき

$q = 2f_2$  の位置に元の物体と同じ大きさの倒立の実像ができる。

(c)  $f_1 < p < 2f_1$  のとき

$q > f_2$  の位置に元の物体より大きい倒立の実像ができる。

(d)  $p = f_1$  のとき

像は結ばない。



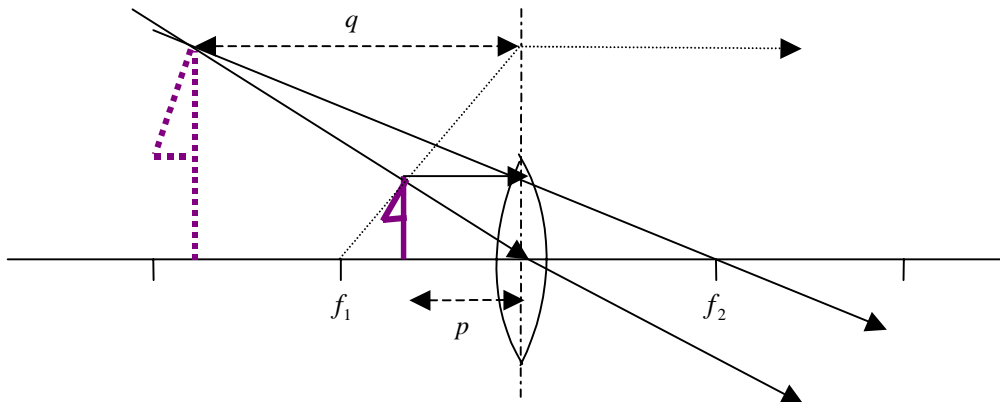


図 5-42 凸レンズによる虚像位置の作図

(e)  $0 < p < f_1$  のとき

$q > p$  の位置に虚像

(4) レンズの後側焦平面

レンズに同じ角度で入射した光線は、レンズの後側焦平面で一点に収束する。このことを利用して、フラウンホーファー回折を簡単に観察することができる (§ 5.4)。

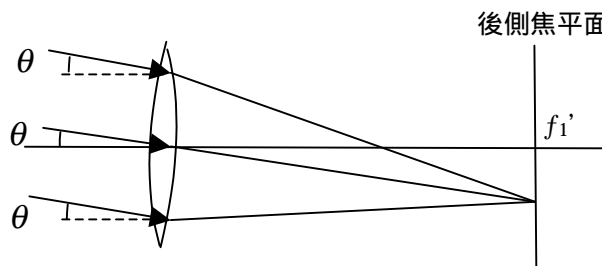


図 5-43 平行光線の後側焦平面への収束

(5) レンズのいろいろ

(a) 虫めがね：1 個の凸レンズ

拡大能は所定の距離 (25cm) で見たときの網膜上の像の大きさの比で定義される。これは、虚像 A' の物体 A に対する比と同じになる。焦点距離を  $f$  とすると

$$m = \frac{25 + f}{f}$$

例)  $f = 10 \text{ cm}$  のときの拡大能

$$m = \frac{25 + 10}{10} = 3.5 \text{ 倍}$$

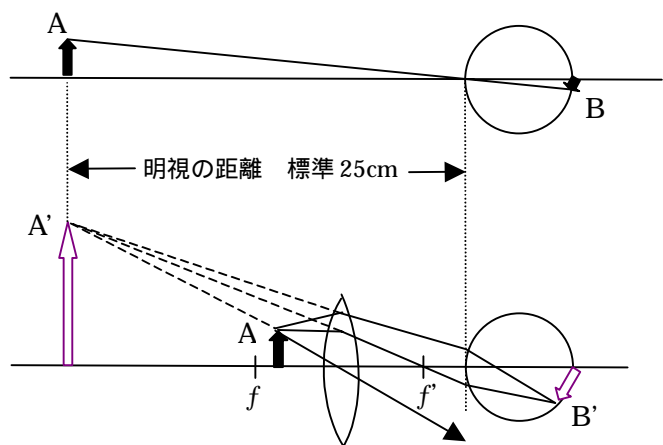


図 5-44 虫めがねの拡大能

- (b) 顕微鏡：2個の凸レンズ  
 対物レンズ  $L_1$  倍率  $m_1$   
 接眼レンズ  $L_2$  倍率  $m_2$   
 焦点距離  $f_1 < f_2$   
 全体の倍率  $m = m_1 m_2$

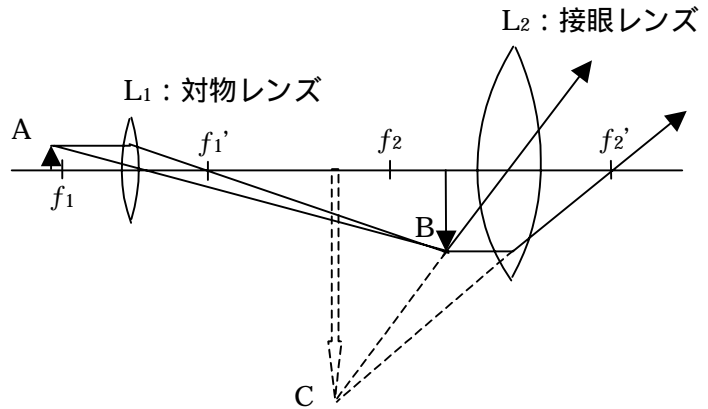


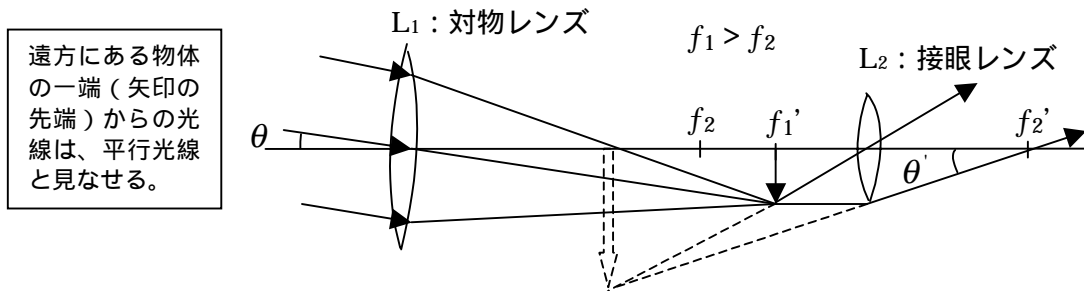
図 5-45 顕微鏡のレンズ系

対物レンズと接眼レンズの光学的な配置は、対物レンズによる像の位置を接眼レンズの焦点のやや内側になるようにしている。

- (c) 望遠鏡：2個の凸レンズ

観察する物体は遠距離にあるので、対物レンズに入る光はほとんど平行光線と考えられ、物体の像は対物レンズの焦平面 ( $f_1'$  の位置) 上に生ずる。物体の視角を  $\theta$ 、対物レンズの焦点距離を  $f_1$  とすれば、

$$(\text{像の大きさ}) = f_1 \cdot \tan \theta \cong f_1 \theta$$



遠方にある物体の一端（矢印の先端）からの光線は、平行光線と見なせる。

図 5-46 望遠鏡のレンズ系

対物レンズによる像を接眼レンズで拡大して見る。虚像の視角を  $\theta'$ 、接眼レンズの焦点距離を  $f_2$  とすると、

$$\theta' \cong \frac{(\text{像の大きさ})}{f_2} = \frac{f_1}{f_2} \theta$$

よって望遠鏡の視角倍率  $M$  は

$$M = \frac{\theta'}{\theta} \cong \frac{f_1}{f_2}$$

例)  $f_1=85 \text{ cm}$ 、 $f_2=2.5 \text{ cm}$  の凸レンズで望遠鏡を作ると、その視角倍率  $M$  は

$$M = \frac{85}{2.5} = 34 \text{ 倍}$$