

テレカの穴で視力回復？

村田憲治（加納高校）

新課程の生徒さんたちが使っている物理 I Bの教科書には、〈レンズの公式〉をはじめとした幾何光学の話が載っています。僕は高校時代に幾何光学を習わなかった世代で、教科書を見てても今ひとつピンときません。そんな折しも折り、ある生徒さんがテレホンカードを手にして物理準備室に飛び込んできました。

■ テレカがあれば、メガネは要らない！？

その生徒さんは興奮した口調でこう言いました。

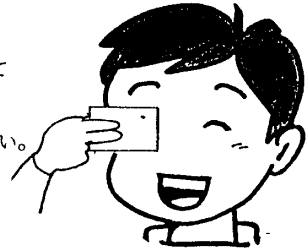
「先生！ 友だちに教えてもらったんだけど、このテレカの穴を通して周りを見てみてよ。すっごくよく見えるんだわ。どうして？」

その子は視力が両眼とも0.1くらいで、普段はメガネをかけているのですが、メガネの代わりにテレカの穴を目のところに持ってきて周りを見ると、メガネをかけているとき以上に景色が鮮明に見えるのだそうです。

幸か不幸か、僕は両眼とも視力が1.5で、テレカの穴を通して周りを見ても景色がちょっと暗くなるだけでそんな劇的な変化は感じられません。となりの席の先生に渡して見てもらおうと、「ほお～、こりゃよく見えるわい。あそこの（3～4メートル先の）カレンダーの小さい字がよく見えるぞ。テレカをはずすと…、ありゃポケちゃって見えんわ。こりゃ面白いな。」

その生徒さんには、「あのね、近眼の人って遠くのものを見ようとするとき目を細めたりするでしょ。それと同じだね。カメラ用語で〈被写界深度〉って言葉があるんだけど、そうやって目に入る光の量を絞ると〈被写界深度〉が深くなって、遠くのものにもピントが合うようになるわけ。」

幾何光学に弱い僕は、冷や汗をかきながらゴチャゴチャ説明してなんとか勘弁してもらったのですが、自分自身どうもスッキリしません。〈被写界深度〉っていったい何？



■ ピンホールは虫メガネの代わりにもなるの？

「そういえば、どこかでこんな話を読んだことがあるぞ」と思って資料を探したら、「教材・教具を工夫する会」というサークルが出しているニュースの第119号に弘前中央高校の野呂茂樹さんという方が『視力回復マスクと万能メガネ』という記事を書いておられるのをみつけました。

その記事によると、『ものづくりハンドブック1』（仮説社）や『見えた！視力回復マスク』（「安心」編集部編 マキノ出版）に黒い紙をメガネ型に切り取って目の所にピンで穴を開けて〈ピンホールメガネ〉を作る方法が紹介してあるのだそうです。

野呂さんの記事には、「これはピンホールによる効果を利用したもので、〈テレカの穴が利用できる〉とちゃんと書いてありました。

ところで、この記事中には「これは拡大レンズとしても利用できます」ということも書いてあります。半信半疑でテレカの穴を目につけて、印刷物の小さな字に顔を近づけていく（1～2cmくらいまで）と、確かに虫



メガネで見ているみたいに字が大きく見えます。これはオドロキ。

黒いプラスチック下敷きにドリルでテレカの穴より小さい穴をあけて、これで見ると、もっと大きく見えるようです。どうして？

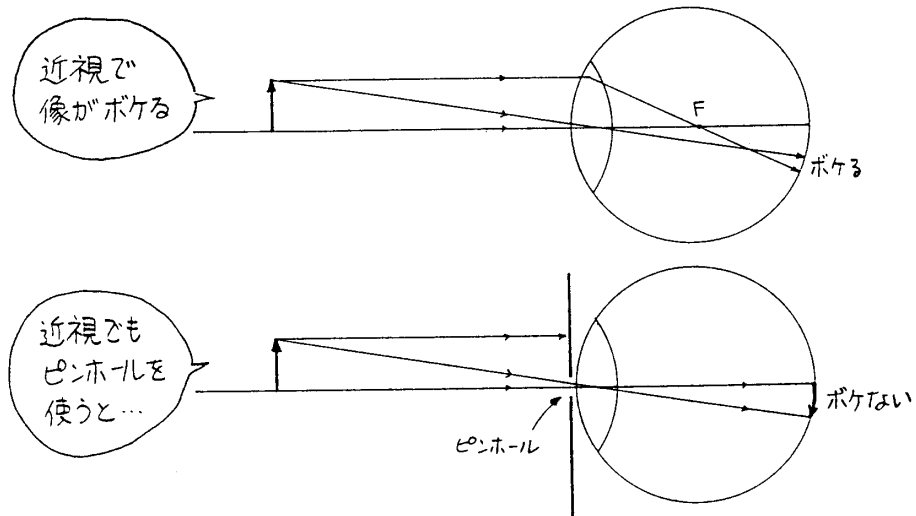
■ 近視の人がピンホールを通してモノを見ると

問題は2点あります。

① 近視（遠視）の人がピンホールを通してモノを見るとどうして鮮明に見えるのか。幾何光学的にきちんと説明したい。

② ピンホールの虫メガネ効果はどう説明できるか。

サークル例会では、皆でワイワイ言いながら黒板に作図してみました。



近視の人は、水晶体レンズの厚みを調節する毛様体筋がうまく働かなくなっていて、網膜より前で（遠視の人は網膜の後ろで）結像しているわけですが、ピンホールで光束を極端に絞ってやることによって網膜上に結像させることができるわけです。

「つまり、光の〈1対1対応〉ってことだね。この場合、水晶体レンズは何の働きもしてないんだ。まさにピンホールカメラそのもの。」

「網膜の位置さえ関係なくて、どこでも像はピントが合って鮮明に見えるってことになるね。」

「いや、レンズで光を集めてるわけじゃないんだからピントもなにもないよね。」

「〈1対1対応〉だから、像も暗いわけた。」

「（虫メガネ効果）はどう説明できるの？」

「うーむ、小さな字に目を近づけていくと、裸眼のときの2倍以上の大きさに見えるな。なぜかな？」

「光の回折？ まさかね。」

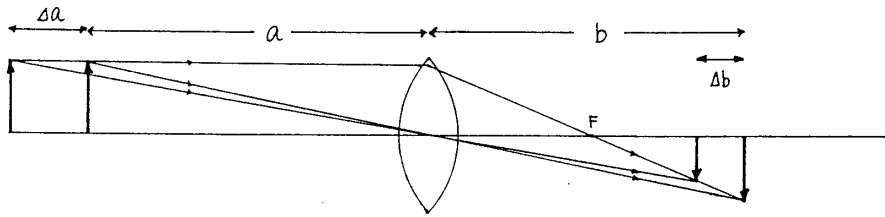
いろいろと作図をしてみても、いまひとつハッキリしません。これは宿題。

■ ピンホールカメラの焦点深度は？

ところで、僕が先の生徒さんにした〈被写界深度〉云々という説明と、ピンホールカメラの原理とはどういう関係にあるのでしょうか。〈被写界深度〉は、物理用語では〈焦点深度〉とよぶようですが、そのあたりのことを少し調べてみたくなりました。

「焦点深度はレンズの口径 D に反比例する」なんてことが、よく本に書いてありますがどういうことなのでしょう。ちょっと作図してみましょう。

まず、凸レンズから左に a だけ離れたところに点光源があって、レンズから右に b だけ離れたところに実像ができるとします。点光源が軸方向に Δa だけレンズから左に移動すると、実像の位置も Δb だけ左に移動します。



これらの量の間になり立つ関係は、レンズの公式 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ より、

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{a + \Delta a} + \frac{1}{b - \Delta b} \text{ となります。通分して整理する（}\Delta a, \Delta b\text{は無視して）と、}$$

実像のできる位置のずれ Δb は、 $\Delta b = \frac{b^2}{a^2} \Delta a$ と表せます。

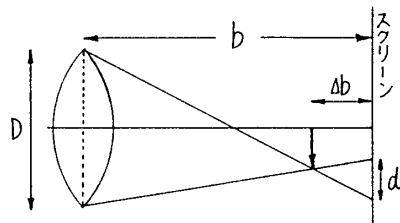
さて、スクリーン（あるいは写真フィルムもしくは目の網膜）を b の位置において、点光源を $a + \Delta a$ の位置に置くと、スクリーン上には〈ボケた円〉が映ります。その円の直径を d とすると、

$$\text{右の図より、} \frac{d}{D} = \frac{\Delta b}{b - \Delta b} \text{ となり、}$$

先の結果を代入して整理すると、

$$\text{〈ボケた円〉の直径} d \text{ は、} d \doteq \frac{D b}{a^2} \Delta a$$

となります。



カメラや目ではそれぞれ b の値が決まっていますし、写真フィルムや目の網膜には、それぞれ〈ボケ〉を感じさせない d の最大値があるはずですから、距離 a だけ離れた物体にピントを合わせたときに、その物体以遠で〈ピントが合っている〉と感じる、いわゆる〈焦点深度〉 Δa は、上式よりレンズの直径 D に反比例することがわかります。 D を0に近づけていくとピンホールになるわけですが、このとき焦点深度 Δa は無限大に近づくわけです。