

天体望遠鏡の作成を目指して

－光の屈折に関する分析－

3年A組 林 晃太郎

2年A組 柴田 凌輔

2年B組 鶴崎 桐梧

指導教員 藤野 智美

1. 要約

私たちは天体の色や温度について調べることを目的としている。研究の過程において、観測機器である望遠鏡の仕組みに興味を持ち、光がレンズに入ったときの屈折の仕方を研究している。レンズが作る像の位置は「レンズの公式」によって求められることがわかった。そこで、レンズの公式を用いて、凸レンズが1枚の時、2枚の時の像の位置を理論的に算出し、検証実験の結果と比較して公式の妥当性を検証し、誤差の要因について考察を行った。

キーワード 天体望遠鏡、光の屈折、凸レンズ、凹レンズ、レンズの公式、収差

2. 研究の背景と目的

私たちは、望遠鏡を用いて天体観測を行い、天体に関する様々な解析を行うことを目的としている。その研究過程において、望遠鏡の仕組みを持って調べたところ、レンズが作る像の仕組みにたどり着いた。文献を調べていくと、像のできる位置がレンズの公式で決まることが分かった。そこで、その公式を用いて、凸レンズが1枚の時の像の位置、凸レンズを2枚組み合わせた時の像の位置、さらに凹レンズの像の位置を理論的に算出するとともに、その検証実験を試みた。

$$\text{凸レンズの公式} \cdots \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

a = 物体からレンズまでの距離

b = レンズから像までの距離

f = 焦点距離

つまり、この公式でレンズの像を求めるに

は、 $\frac{1}{f} - \frac{1}{a} = \frac{1}{b}$ から算出すればよい。

3. 実験内容

3. 1 凸レンズが1枚のとき

私たちはレンズの像の位置を特定する公式があることを知った。そこで、公式について凸レンズが1枚の場合の検証実験を行った。レンズの公式を以下に示す。

3. 1. 1 実験手順

以下に実験手順を示す。

① レンズの焦点距離(f)を測定し、 $\frac{1}{f}$ を

求める。

② 光学台に(光源物体)、レンズ、スクリーンを設置する。

③ 光源の位置を固定して、光源からレンズまでの距離(a)を1cmずつ遠ざけながら、像が目視ではっきり見えたときのレンズから像(スクリーン)までの距離(b)を記

録する。

- ④ それぞれのデータからレンズの公式の $\frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ を算出し、①で求めた $\frac{1}{f}$ と比較した。

3.1.2 焦点距離の測定方法

蛍光灯と机を 2m メジャーでつなぎ、机とメジャーが直角になるようにする。スタンドにレンズを設置し、蛍光灯の形が分かる位置を焦点距離として計測した。

3.1.3 レンズの公式による理論値の算出

凸レンズのレンズの公式は、理論的に以下のように算出される。図 1 において、 $\triangle ABO \sim \triangle DCO$ 、 $\triangle BOF \sim \triangle DEF$ 、 $\triangle ABO \sim \triangle DCO$ によって、

$$a : b = BO : CO \quad (CO \text{ は像の大きさ})$$

$$\text{つまり、倍率 } CO = \frac{b}{a} BO$$

$$\triangle BOF \sim \triangle DEF \text{ から } f : b - f = BO : DE、$$

(DE は像の大きさ)

$$\text{つまり、} f : b - f = 1 : \frac{b}{a} \dots \text{①}$$

$$\text{①を变形すると、} \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \text{ が得られる。}$$

3.1.4 考察

$\frac{1}{f}$ と $\frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ の差が (0.00666 の差) ほとんどないことがわかった。よって、レンズの公式は論理的になりたっていることが分かった。

3.2 凸レンズが 2 枚のとき

レンズが 2 枚の場合について確認実験を試みた。

3.2.1 実験手順

焦点距離が 7.73cm のレンズと 30.04cm のレンズを用いて実験を行った。

- ① レンズの焦点距離 (f') を測定し、 $\frac{1}{f'}$ を求める。

- ② 3.1.1 と同様に光学台に光源 (物体)、レンズ 1、レンズ 2、スクリーンを設置する。

- ④ 光源とレンズ 1 の位置を固定し、レンズ 1 からレンズ 2 までの距離を 1cm ずつ遠ざけて、像が見えたときのレンズ 2 からスクリーンまでの距離を記録する。また、像の位置は 3.1.1 と同様に目視で像のはっきり見える位置とする。

- ⑤ それぞれのデータからレンズの公式の $\frac{1}{a'} + \frac{1}{b'}$ を算出し、②で求めた $\frac{1}{f'}$ と比較した。

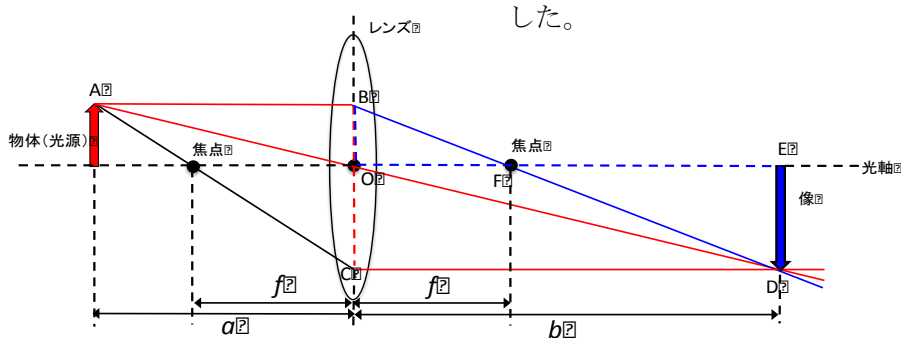


図 1

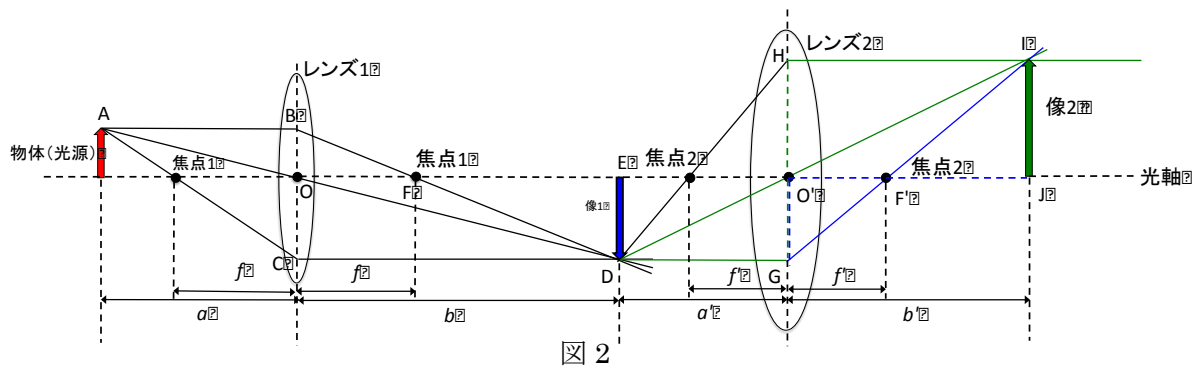


図 2

3.2.3 像の位置の予想方法

上図において

$$\triangle DGO' \sim \triangle IHO', \triangle GO'K \sim \triangle IJK$$

$$\triangle DGO' \sim \triangle IHO'$$

よって、

$$a' : b' = GO : HO \quad (HO \text{ は像の大きさ})$$

つまり、倍率が $HO = \frac{b'}{a'} GO$

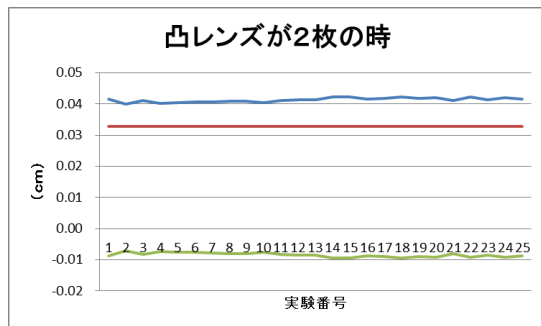
$\triangle GO'F' \sim \triangle IJF'$ から

$$f' : b' - f' = GO : IJ \quad (IJ \text{ は像の大きさ})$$

つまり、 $f' : b' - f' = 1 : \frac{b'}{a'} \dots \textcircled{2}$

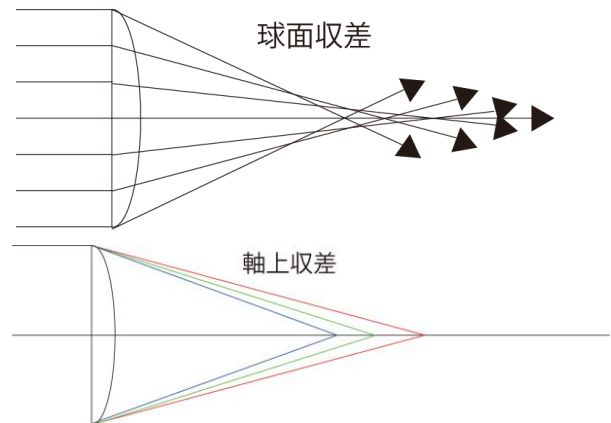
②より $\frac{1}{a'} + \frac{1}{b'} = \frac{1}{f'}$ となる。

3.2.4 考察



レンズが 2 枚のとき、予想値と結果が一致しなかったことについて、レンズ特有の収差によってこのような結果が導かれたと予想した。収差には色収差と単色収差の大きくわけて 2 種類ある。色収差はそれぞれの色の波長によって屈折率が変わることに

よってできるものである。単色収差にはさらに球面収差やコマ収差などがあり、これはレンズの球面によって像の輪郭がぼやけたり、レンズの各部分によって厚みが違うことなどによって起きる収差である。この解消には、2 枚のレンズの両方をダブルットレンズやトリプレットレンズなどの組み合わせレンズを使用するか、凹面鏡を使用した反射望遠鏡の形式が考えられる。



3. 3凹レンズ

3.3.1 凹レンズのときの説明

天体望遠鏡には凹レンズも使われている。そのため今度は凹レンズの像の位置の特定を試みた。しかし、像の位置を特定するにはまず焦点距離が必要である。凸レンズではスクリーンに像を映すだけで良かったが、凹レンズはレンズの手前に像ができるため焦点も手前にできる。そこで、まずは凹レンズの焦点距離の測定方法を考察した。

3.3.2 焦点距離の測定方法

凹レンズに2カ所からレーザーポインタを照射し、広がった光をレンズの手前に延長し、交わったところを凹レンズの焦点とした。

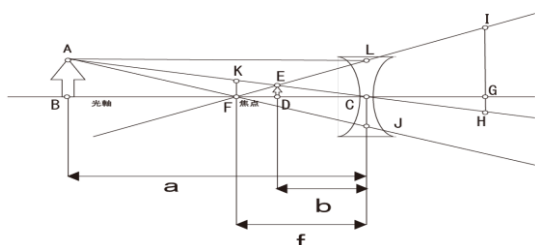
3.3.3 公式の導き出し方

$\triangle LFC$ の $\triangle EFD$ より、

$$LC:ED = f : f - b$$

$AB=LC$ より、 $a : b = f : f - b$

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}$$

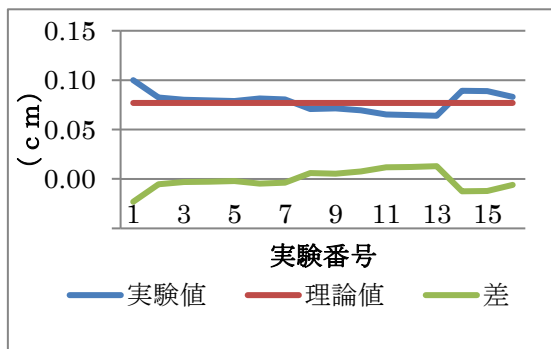


3.3.4 公式の確認実験

凹レンズから光の道筋に沿ってひもをたるとまないように張り、少しずつ光源から離していき像の位置と焦点距離を測定していった。そして、結果と予測値を比較した。

3.3.5 考察

比較したところ $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}$ が実験的に確認された。



4. 今後の課題

- ◆ 色収差を解消する方法の特定・応用
- ◆ この研究を生かしたオリジナル望遠鏡の作成
- ◆ 作成した望遠鏡を使用した天体の観測

5. 参考文献

「よくわかる光学とレーザーの基本と仕組み～光の性質とその応用～」

著者：国立東京工業高等専門学校教授

理学博士 潮 秀樹

6. 謝辞

今回の研究にあたり、ご指導くださいました顧問の藤野先生、ありがとうございました。