

LED 照明ノーツ 22

レンズを使う 9

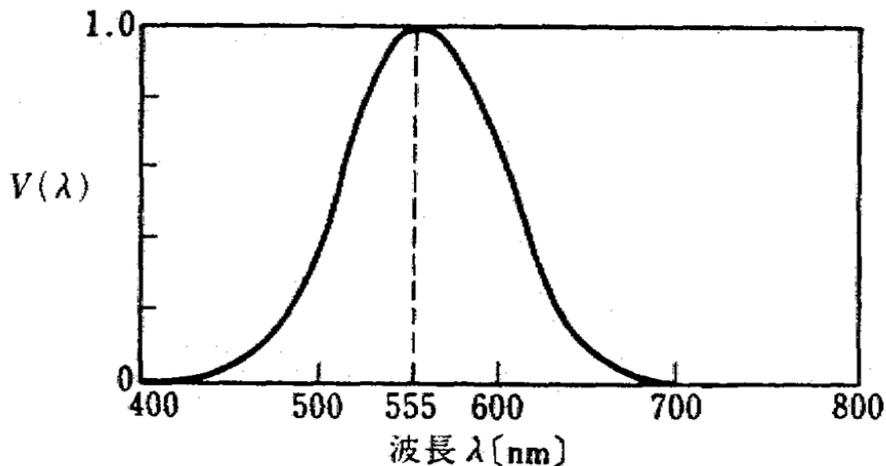
＜色収差について＞

株式会社タイコ
牛山善太

前回までに近軸理論による焦点距離、光学系配置、あるいは球面収差について触れさせていただいた。これらの量は一つの波長の光線、単色の光線について考えた量である。今回は、一つの波長の光線だけではなくて異なる波長の光線が入射した場合に結像はどうなるのかを考えさせて戴きたい。波長、屈折率など、光学において重要となる量についても改めて説明させていただく。

1. 光りの波長について

光り波である。従って波長と言うものがある。波と言うのは場が周期的に振動してエネルギーが伝播していくものなので、その性質を語るうえで、周期、振動数、波長と言う量が必要となる。所謂波の形の振動が繰返されて波が進行していく訳であるが、その基本と成る波の形一個分の長さを波長と言う。人間には異なる波長で光るもの、或いは異なる波長の光で照明された被写体からは異なる色を感じる。波長の違いにより人間の受ける刺激が異なり、異なる色感を生む。人間が光を感じることのできる波長領域、可視領域は一般的に、380nm から 700nm 程度と言われている。この範囲からより短い波長領域の光を紫外線、長い方を赤外線と呼ぶ（であるから赤外線は決して赤くは見えない）。デジタル的な色合成、或いは光学設計においても、これらの単色の色刺激を3色以上混ぜて白色を含む様々な色彩が表現される。この可視領域においても人間の感じやすさ、感度の違いがあって、サンプルデータを基に標準比視感度と言うのが決められている（図 1）。緑のあたりの波長が一番高い。

図 1-1 標準比視感度 $V(\lambda)$

2. 屈折率と波長

光学レンズは光学硝子によって成り立っているが、このような硝材（硝子）の性質を表す常数に屈折率と言うものがあることは、本連載においても触れさせて載いているし、式の中にも度々、登場している。一番はつきりしているのが、屈折率の異なる境界面における光線の屈折という現象を表現するスネルの屈折則の式においてである(図2)。

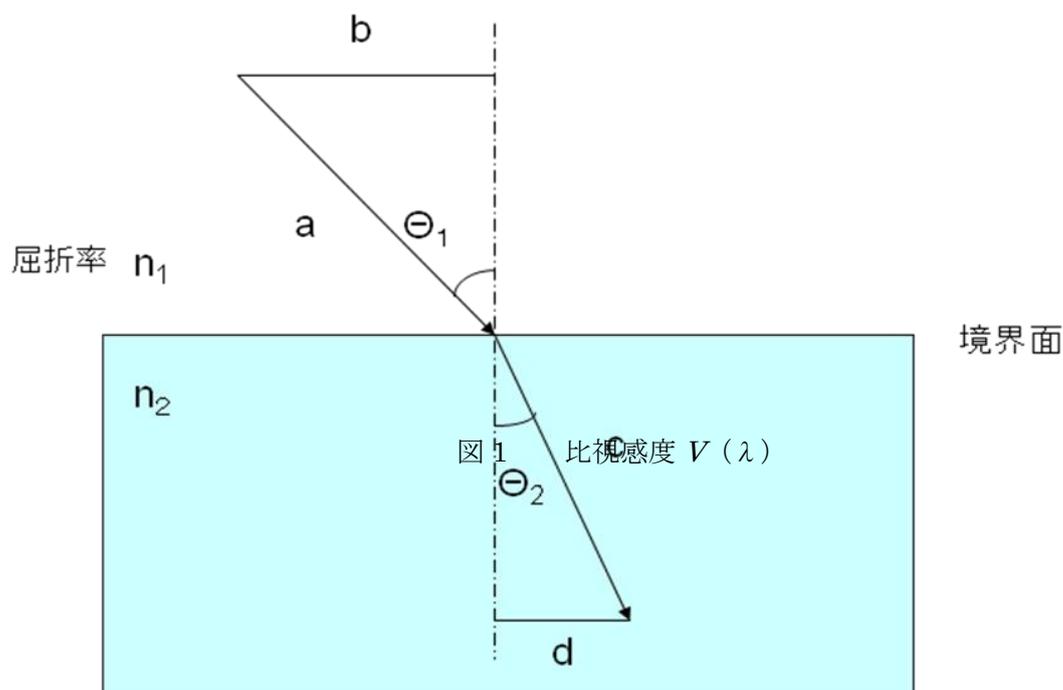


図2 スネルの屈折則

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1)$$

境界面に対して垂直な方線に対して上記夫々の角度 θ を光線から計る。入射前が θ_1 であり屈折後が θ_2 である。 n_1 、 n_2 は境界面前後の屈折率であった。

屈折率と言うものは、確かに光の曲がり方、屈折の度合いを決める係数であるのであるが、実は屈折率は真空中と比べた、その媒質における光の速度の比を表している。ある媒質の屈折率が 1.5 であれば、真空中で同じ距離進むのに比べて 1.5 倍時間がかかる。

また、屈折率は、同じ媒質中においても、光の波長が変化すると、やはり変化する。真空中では光の速度は波長に寄らず一定であり、波長に応じて波長固有の振動数が変化するのであるが、媒質中でもこの真空中での固有の振動数は一定である。従って波長が変化すると、光の進む速度も変化する。と言うことは屈折率が変化するということである。従って波長の短い光が通過する時の方が屈折率は大きくなる。ある媒質の屈折率を n 、真空中と、その媒質中の光の速度を夫々、 c 、 v とすれば^①、

3. 色収差の発生

さて、屈折率が異なると、どのようなことが、起きるかと言うと、それは単純な話であって、(1)式、スネルの屈折式における、両辺の屈折率 n が異なるわけであるから、光の曲がり方が異なることになる。プリズムなどで虹色に白色光が分離できるのもこの理屈による。

因みに、スネルの反射則においては、

$$\theta_1 = -\theta_2 \quad (3)$$

であるから当然、波長による違い（後述の色収差）は発生しない。

また、これまで触れさせて戴いた近軸理論も元々(1)式を基本として（(4)式に有るようにスネルの屈折則は簡単になるが）導かれたものであるから、

$$n_1\theta_1 = n_2\theta_2 \quad (4)$$

焦点距離が変化する。そして結像位置も、倍率も変わることになる。空气中（或いは真空中）に光学系が存在すればレンズメーカーの式⁷⁾、

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f} \quad (5)$$

によって、物体、レンズ、像の位置、或いは、

$$\beta = \frac{b}{a} \quad (6)$$

によって横倍率 β も決まってしまうわけであるから、焦点距離 f が変化すれば、これらの量すべてが変化する。単波長では収差が無かった近軸理論においても色（波長）による像の差異、色収差は存在することになる（図4）。

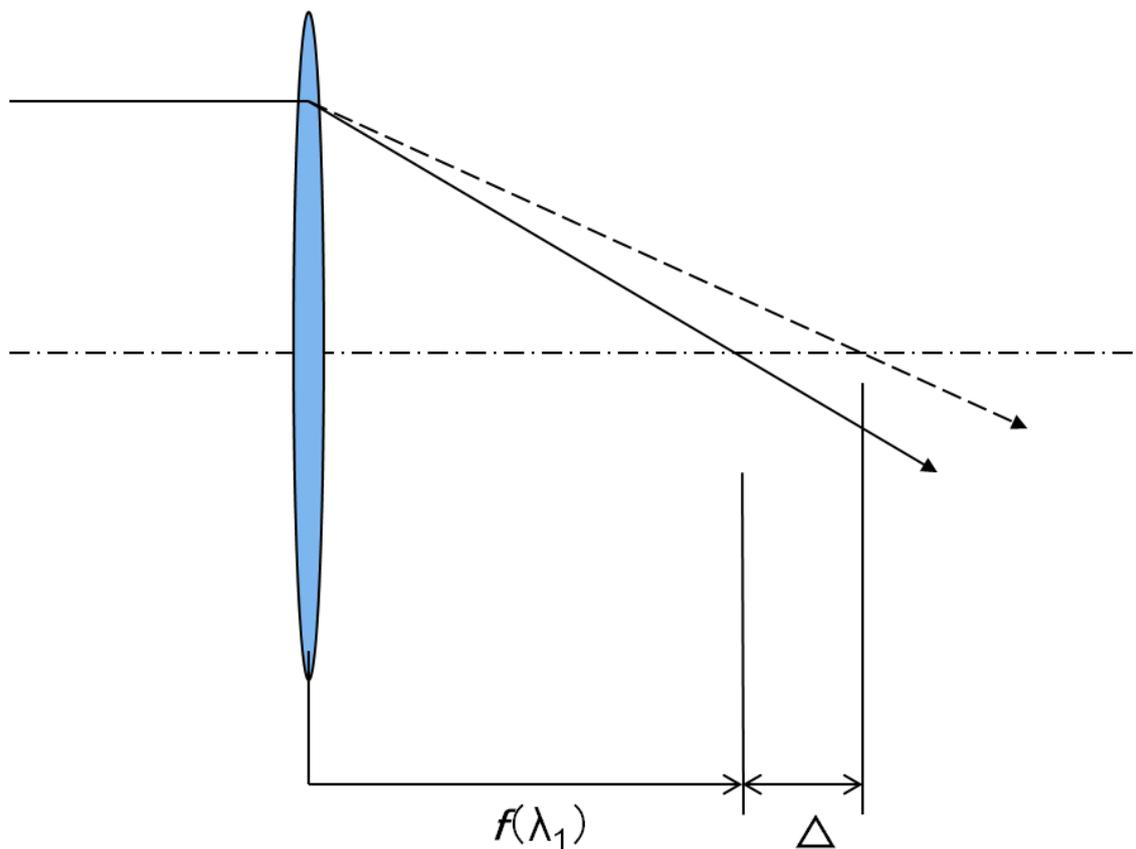


図4 波長による焦点距離の違い Δ

4. 参考文献

- 1) 油 大作: 通信講座テキスト“光学技術の基礎講座”(トリケップス、東京、1993)
- 2) 小倉敏布: 写真レンズの基礎と発展(朝日ソノラマ、東京、1995)
- 3) 高野栄一: レンズデザインガイド(写真工業出版社、東京、1993)
- 4) 永田信一: レンズがわかる本(日本実業出版社、東京、2002)
- 5) 松居吉哉: 結像光学入門(JOEM、東京7)1988)
- 6) 牛山善太: 波動光学エンジニアリングの基礎(オプトロニクス社、東京、2005)
- 7) 本連載第16回<レンズの結像関係を表す式>
- 8) <http://www.ohara-inc.co.jp/jp/product/optical/opticalglass/data.html>