提供：
株式会社オプティカルソリューションズ
〒101-0032
東京都千代田区岩本町 2-15-8（MAS 三田ビル 3 階）
TEL：03-5833-1332　FAX：03-3865-3318
http://www.osc-japan.com/
e-mail:info@osc-japan.com

LED 照明ノーツ　26

レンズを使う 13
＜色収差、２次スペクトルについて＞

株式会社タイコ
牛山善太

ここまでは、C線、F線などの2波長についての色消しについて考えて来た。この様な2波長についての色消しが成っているレンズをアクロマート(achromat)と呼ぶ。この2波長以外の波長に対しては、色収差が残存する場合が極一般的に考えられ、この残存する色収差を2次スペクトルと呼ぶ。この2次スペクトルを除去するためには、蛍石などの高価な特殊な材料が用いられ、2次スペクトルが除去されているレンズ、或る比はそれに近い性能を持つレンズをアポクロマート(apochromat)と呼ぶ。

特に、2 次スペクトルとしては一般的なレンズにおいては、より波長の短い（紫寄りの）g線（435nm）を考える場合が多い。精密な結像が必要となる顕微鏡対物レンズ、或いは長い焦点距離によって、こうした 2 次スペクトルもそれに比例して目立つようになる、望遠レンズの設計時においては重要な評価項目となる。

1.　２次スペクトル

以下で、薄肉密着系による2次スペクトルの色消し条件について考えてみよう。　C-F 線の一次の色消し条件は、

$$\frac{\delta f}{f^2} = \frac{1}{f_1 \nu_1} + \frac{1}{f_2 \nu_2} = 0 \qquad (1)$$

ここで、F、ｇ線についての色収差をδf’として、この場合の分散率をν’、

$$\nu' = \frac{n_d - 1}{n_g - n_F} \qquad (2)$$

とすれば、

$$\frac{\delta f'}{f^2}=\frac{1}{f_1\nu_1'}+\frac{1}{f_2\nu_2'}=0 \qquad (3)$$

となる。また、合成焦点距離 f については

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2} \qquad (4)$$

であるから(1)式より

$$\frac{\delta f}{f^2}=\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{f_2}\right)\frac{1}{\nu_1}+\frac{1}{f_2\nu_2}$$

$$=\frac{1}{f\,\nu_1}-\left(\frac{1}{\nu_1}-\frac{1}{\nu_2}\right)\frac{1}{f_2}$$

$$=\frac{1}{f\,\nu_1}-\left(\frac{\nu_2-\nu_1}{\nu_1\nu_2}\right)\frac{1}{f_2}$$

であって、

$$\frac{\delta f}{f^2}-\frac{1}{f\nu_1}=-\left(\frac{\nu_2-\nu_1}{\nu_1\nu_2}\right)\frac{1}{f_2}$$

$$\left(\frac{\nu_2-\nu_1}{\nu_1\nu_2}\right)\frac{1}{f_2}=-\frac{\delta f}{f^2}+\frac{1}{f\nu_1}$$

$$\frac{1}{f_2}=-\frac{\delta f\nu_1-f}{f^2\nu_1}\left(\frac{\nu_1\nu_2}{\nu_2-\nu_1}\right)$$

$$=-\frac{\delta f\nu_1\nu_2-f\nu_2}{f^2(\nu_2-\nu_1)} \qquad (5)$$

となる。ここで、一次色消しが為されているとすれば、(5) 式において δ f=0 であるから、

$$\frac{1}{f_2}=\frac{\nu_2}{f(\nu_2-\nu_1)} \qquad (6)$$

この関係を、(4)式を利用して(5)式を変形した

$$\frac{\delta f'}{f^2}=\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{f_2}\right)\frac{1}{\nu_1'}+\frac{1}{f_2\nu_2'}$$

に代入して整理すれば

$$\delta f'=\frac{f\left(\frac{\nu_2}{\nu_2'}-\frac{\nu_1}{\nu_1'}\right)}{\nu_2-\nu_1}=0 \qquad (7)$$

これが２次の色消しの条件となる。上式における

$$\theta_1 = \frac{\nu_1}{\nu_1'} = \frac{n_d - 1}{n_F - n_c} \cdot \frac{n_g - n_F}{n_d - 1} = \frac{n_g - n_F}{n_F - n_c} \qquad (8)$$

を部分分散比と呼び、この値は光学ガラスメーカーより硝材 data として公示されており(図 1)、

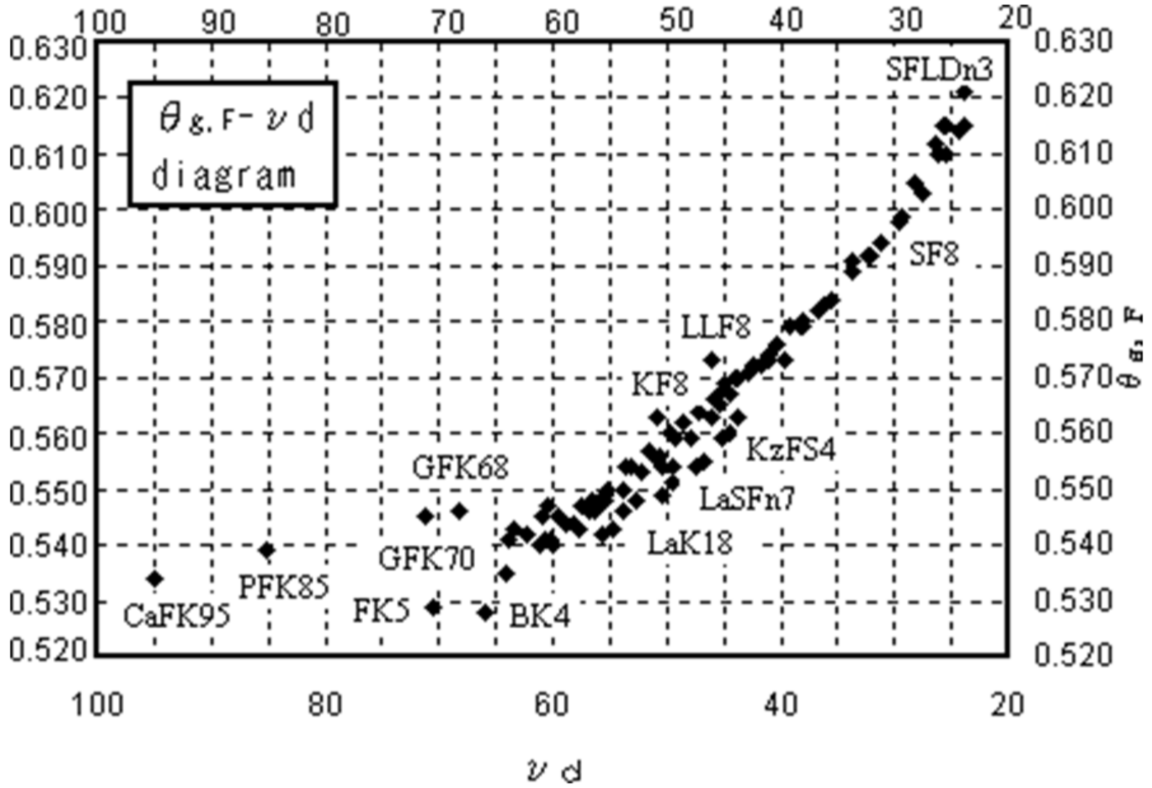

図１　アッベ数ー部分分散比（ｇ、F）: sumita 硝子

２次の色消しを考える際には重要な定数となる。(7)式から、明らかに、

$$\theta_1 - \theta_2 << \nu_1 - \nu_2 \qquad (9)$$

となる様に硝子を選択する事が重要になる。しかし、部分分散比－アッベ数グラフではだいたい直線状に硝子は分布するので、これらの一般的な範囲の硝材を利用する限りは、これらの一般的な硝子の組み合わせ、そして焦点距離より得られる、一般的なレベルでの２次スペクトルの収差を特別に補正する事は出来ない。そこで、２次スペクトル除去のためには、ホタル石等に代表される、一般的な直線分布から外れる異常分散性を持つ硝材を採用する事になる。この様な異常分散性を持った硝子は高価であるので、２次スペクトルが除去されたレンズは高価になり、多くの場合、赤だとか金の帯がレンズ鏡筒に描かれその性能の高さが表現されている。

レンズ構成で最も基本となる密着型の２枚レンズでの焦点距離の色収差の除去の考え方については、これまでに触れさせて戴いた１次スペクトルの除去も当然踏まえて、次回以降で解説させていただきたい。

2.　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）　辻内順平：光学概論Ⅰ（朝倉書店、東京、1979）

5）　松居吉哉：結像光学入門（JOEM、東京7）1988）

6）　村田和美：光学（サイエンス社、東京、１９７９）

7）　吉田正太郎：屈折望遠鏡光学入門（誠文堂新光社、東京、2005）P206,P259