

## LED 照明ノーツ 33

## レンズを使う 20

## &lt;機械補正式、2群ズームについて 2&gt;

前回から機械補正式ズームとしてもっとも構成のシンプルな2群構成ズームについて考えさせて戴いている。今回は前回導出した近軸量から、2群ズームレンズの群の焦点距離の決め方、ズーム倍率について考える。

## 1. 2群の近軸計算配置

前回から、下記の図の場合、

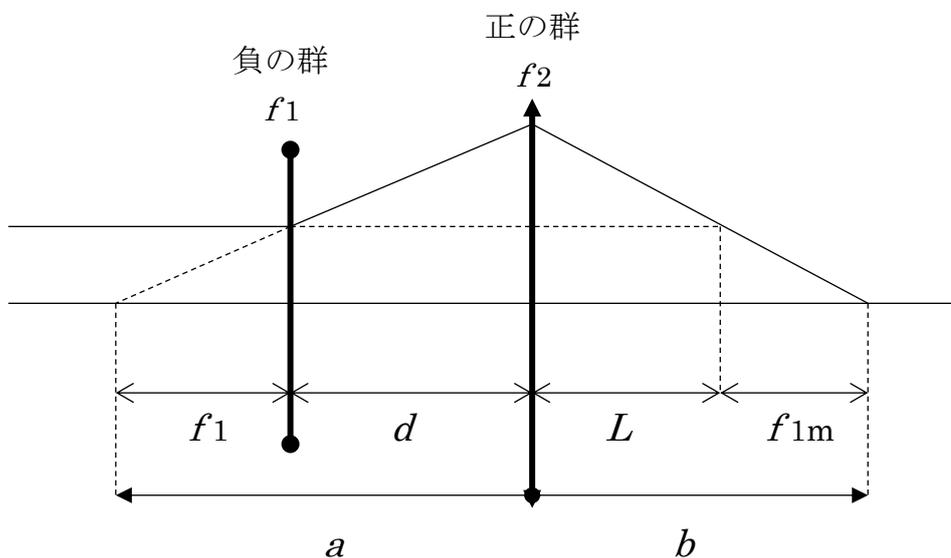


図1 2群ズームの近軸理論的構造

前群、後群の焦点距離をそれぞれ  $f_1$ 、 $f_2$ 、その間隔を  $d$  とし、この時  $f_1$  の  $m$  倍の値が全体のこのズームレンズの焦点距離として、

$$a = f_2 \frac{1-m}{m} \quad (32-6)$$

$$b = (1-m)f_2 \quad (32-10)$$

と計算出来た。

結局、後群単独での結像横倍率を  $m_2$  とすれば、

$$\begin{aligned} m_2 &= \frac{b}{a} = \frac{(1-m)f_2}{f_2 \frac{1-m}{m}} \\ &= m \end{aligned} \quad (1)$$

となり、 $m$  は後群の結像倍率であることが分かる。つまり、全形の焦点距離は前群の焦点距離に後群の倍率を乗じたものと成る。実は2群ズームレンズだけに置いてではなく、総ての多群構造のレンズの場合、同様の結果が得られる。総て空気中で考えて、ヘルムホルツラグランジュの不変量より[1][2]、図2にある様に、1群により形成される像の大きさを  $y_2$  (2群への入力値として)、その2群による像の大きさを  $y'_2$ 、1群により屈折された軸上光線の角度を  $u_2$ 、2群の結像倍率を  $m_2$ 、2群による屈折後の同光線の角度を  $u'_2$  とするとき、

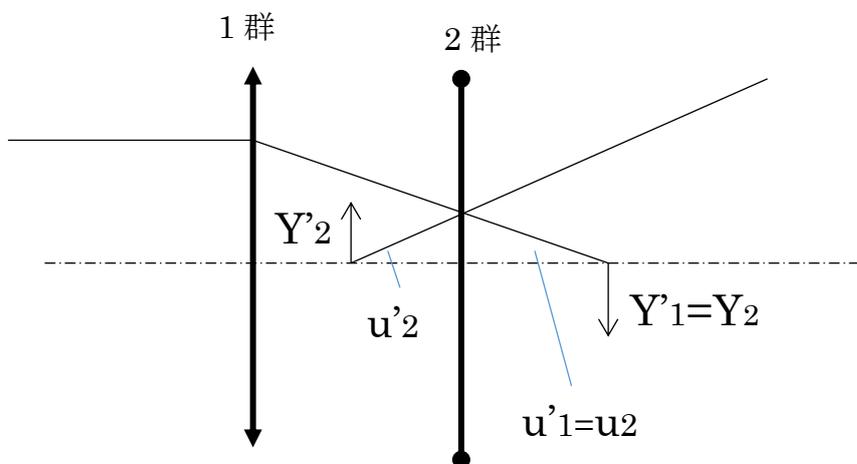


図2 後群の変倍機能

$$y_2 u_2 = y_2' u_2' \quad (2)$$

$$u_2' = \frac{1}{m_2} u_2$$

同様にその後の群についても、

$$u_3' = \frac{1}{m_3} u_3$$

k 番目の群においては、

$$u_k' = \frac{1}{m_k} u_k$$

従って、全系について考えると

$$u_k' = \frac{1}{m_2 m_3 \cdots m_k} u_2 \quad (4)$$

従って全体の焦点距離を  $f$  として、

$$f = \frac{1}{u_k'} = \frac{m_2 m_3 \cdots m_k}{u_2} \quad (5)$$

である。ここで、

$$\frac{1}{u_2} = \frac{1}{u_2'} = f_1 \quad (6)$$

であるから、(5)式は

$$f = f_1 m_2 m_3 \cdots m_k \quad (7)$$

と表現出来る。シンプルな表現で光学系の構造を表す、重要な式である。ここから、ズームレンズと言うものが、各群の結像倍率を（位置関係を変えることにより）変化させて、像を継承し、第一群の焦点距離を変倍して成立しているものであることが分かる。ズーム比もこれら結像倍率の積の比のみにより決まる。

さて、話を 2 群ズームレンズに戻すと、 $f_1$  を負として全体で正の焦点距離を得るため、 $m$  も負として、さらにズーミングにより全体の焦点距離が  $f_1 m_w$  (wide 時) から  $f_1 m_t$  (tele 時) まで変化すると考えれば、wide、tele の時の図 1 に置ける  $a$  の差  $\Delta$  を考えると、

$$\Delta = f_2 \frac{1 - m_w}{m_w} - f_2 \frac{1 - m_t}{m_t} \quad (8)$$

$$= f_2 \left( \frac{1}{m_w} - \frac{1}{m_t} \right)$$

当然、

$$|m_t| > |m_w| \quad (9)$$

なので、

$$\Delta < 0$$

また、 $f_2$  は正であって、

$$\Delta = - \left\{ \left| f_2 \frac{1 - m_w}{m_w} \right| - \left| f_2 \frac{1 - m_t}{m_t} \right| \right\}$$

なので、倍率  $m_t$  の時に前群と後群が最も接近することが分かる。この最少間隔は機構的にこのズームレンズを成立させるためには非常に重要な数字と成る。ここで、wide と tele の焦点距離の比、

$$\frac{f_1 m_t}{f_1 m_w} = \frac{m_t}{m_w} \quad (10)$$

はズーム比を表す。

図 3 はこの 2 群形式を見事に現実化した例である[4]。当時としては高屈折率の硝材を用いて、前方のレンズの屈折力を上げ、小径化を成し、前群、後群のレンズ配分にも考慮が伺える。また当時急速に進歩していたコンピュータの演算能力を有効に活用した成果ともいえる。

さらに、ズームングのために複雑な動きを安定して実現させ得る、そして勿論、製造可能な鏡筒・機構部分の設計にも多大な努力が払われたことと推察される。

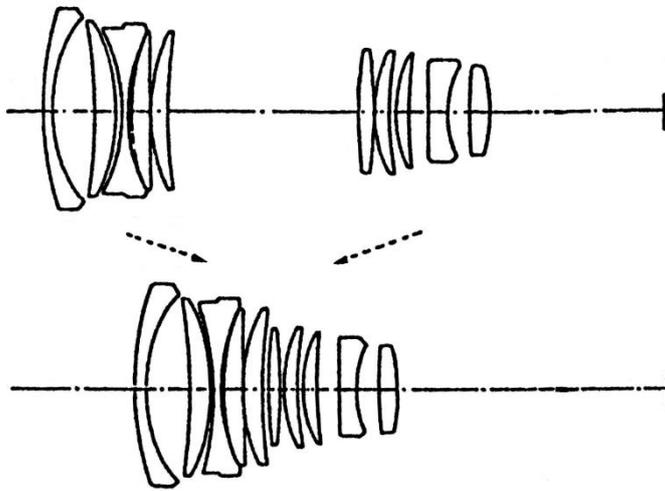


図 3 2 群ズームの例 Canon 35-70mmF2.8-3.5 (1972) 上図が wide 時。

## 7. 参考文献

- [1]松居吉哉:レンズ設計法(共立出版、東京、1972)
- [2]中川治平:レンズ設計工学(東海大学出版会、東京、1986)
- [3]中川治平:“ズームレンズ近軸パワー設計の実際”、  
光学設計入門テキスト (JOEM、東京、2004)
- [4]田島晃:“レンズ設計原論”、光学設計入門テキスト (JOEM、東京、2009)

執筆者: 牛山 善太

博士 (工学)

元東海大学工学部光・画像工学科 (レンズ設計) 非常勤講師

(株)タイコ 代表取締役

(株)オプティカルソリューションズ 顧問

提供:

**株式会社オプティカルソリューションズ**

TEL: **03-5833-1332**

Mail: [info@osc-japan.com](mailto:info@osc-japan.com)

Web: <http://www.osc-japan.com>

〒101-0032

東京都千代田区岩本町 2-15-8 MAS 三田ビル 3 階