

光学器械を使う人のために

—第5回 ズーム・レンズと超遠心機光学系—

吉田 正 太 郎*

5-1 初期のズーム・レンズ

光はこんなこともできるという例として、今回はズーム・レンズと超遠心機光学系について説明しましょう。

レンズ系のなかの各レンズの間隔を変えれば、合成焦点距離も、焦点の位置も変わります。これをうまく利用すればズーム・レンズになります。

第1次世界大戦(1914~1918)で軍用の飛行機が出現すると、敵機の発見は緊急の課題になりました。どこから飛んでくるかわからない目標を探すには低倍で広視界の望遠鏡が必要ですが、その詳細を確めるには高倍率を使わなければなりません。しかし接眼鏡を交換しては、その間に目標を見失ってしまいます。

そこで、見続けていながら連続的に倍率を変えられる望遠鏡が開発されました。これがズーム式のはじまりで、ドイツのツァイス社が製作した一例は口径 50 mm、倍率 4 倍から 20 倍まで連続変倍でした。

ただし当時の望遠鏡は使用目的から言って、最低倍率と最高倍率とでハッキリ見ることが必要ですが、中間倍率では像がいくらかボケても歪んでも、とにかく消失さえしなければよいのでした。

やがて 1920 年代になると、映画がサイレント(無声)からトーキー(発声)に切り換わったので、映写機の投影レンズとしてズーム・レンズが要求されました。トーキー・フィルムは片側に録音のサウンド・トラックがあって、画面の巾がサイレントより狭くなっています。同じ映画館でサイレントでもトーキーでも映写するには、ズーム比(最長焦点距離と最短焦点距離の比、 Z と書きます)の小さいズーム・レンズでも役に立ちます。この場合は、ピントは毎回合わせなおしてもよいのですが、画角が大きい(最大直径 40°)ので、設計は案外やっかいです。 F 数も小さくしなければなりません。

5-2 ズーム・レンズの発達

1930 年ころから現代までの約 60 年間に、ズーム・レンズは長足の進歩をとげました。映画や TV の撮影機用のズーム・レンズが最初に発達しましたが、これは解像力や歪曲の許容限度の要求があまりきびしくないからです。どうせ被写体が絶えず動いていますから。

そのうち、より大きなズーム比、より明るい(F 数の

小さい)レンズ、ズーミング中の収差変化が少いレンズ、より広角に使えるレンズ、より色補正の良いレンズへと、世界各国で盛んに開発が続けられています。

なかでも、スチール写真用のズーム・レンズは、映画や TV より像質の要求がきびしいので、最近になってやっと満足なものが市販されはじめました。いっぽう、取り扱いの容易さに重点のあるビデオ・カメラ用のズーム・レンズでは、内部の 1 枚の凹レンズを縦動させて、非常に近距離の接写ができるマクロ機構をそなえるようになりました。将来、解像度の良い高品位 TV (ハイビジョン) が普及すれば、ズーム・レンズも一層の質的進歩を要求されることでしょう。

観賞を目的としたアマチュアの天体写真は別として、天体観測にズーム・レンズを使った例はあまり聞きません。焦点距離や光軸の不安定、収差の変化、余計な光量損失などがこまるでしょう。しかし、一定面積の CCD の全面を使って、いろいろな星団を観測したいときなどには、簡単なズーム・レンズが役に立つかもしれません。

5-3 ズーム・レンズの作動原理

ズーム・レンズとは、焦点距離を連続的に変えることができ、しかも焦点面の位置が一定しているレンズ系を言います。大部分のズーム・レンズでは、そのうえさらにバック・フォーカスも一定していて、このほうが交換レンズとして取扱いに便利です。

一例としてキャノン社の小型シネ・カメラ用ズーム・レンズ 3 倍 F1.8 (特公昭 52-4947) を図 25 にしめます。11 枚のレンズが図のように G_1, G_2, G_3, G_4 の 4 群に分かれ、そのうち G_2 だけが発散系です。

物体無限遠の場合に、各群の先端の位置が、焦点距離 100, 169, 285 に対して図 26 のように変わります。トップ・レンズ G_1 も、マスター・レンズ G_4 も動きませんから、ズーミング中のカメラの全長は一定しています。

G_2 を動かすと焦点距離が大きくなりますから、これを変倍系 (variator) といいます。しかし、 G_2 の移動によって焦点面がいくらか変動するので、単レンズ G_3 を動かして、これを修正します。このようなレンズを補償系 (compensator) といいます。この例では補償系は往復運動をします。

このズーム・レンズは小型シネ・カメラ用ですから、明るさを第 1 とし、ズーム比は小さく、収差補正の要求

* Syotaro Yoshida

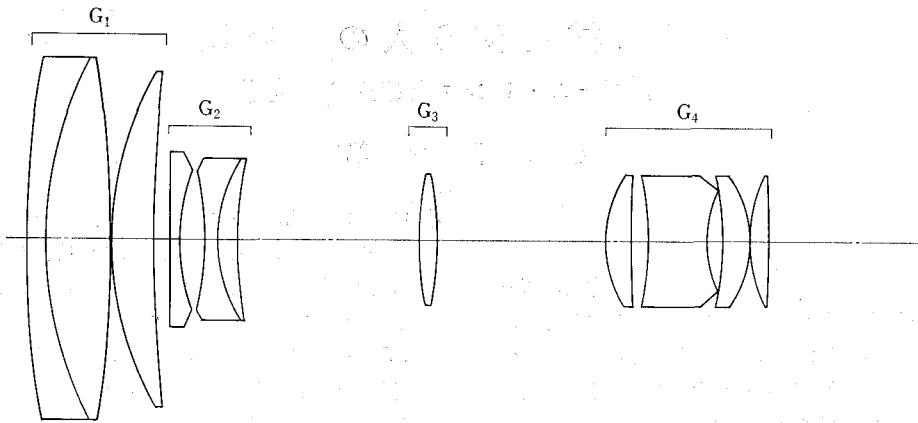


図 25 キヤノン社のズーム・レンズ3倍 F1.8. G_2 が変倍系で G_3 が補償系

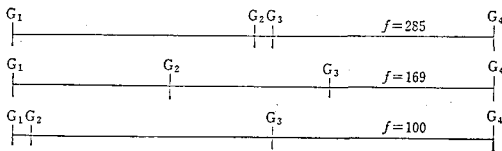


図 26 変倍系 G_2 と補償系 G_3 の動き

もあまりきびしくないので、11 枚構成で済んでいます。このレンズは長焦点側でプラス（糸巻型）歪曲，短焦点側でマイナス（樽型）歪曲をしめしますが，これは多くのズーム・レンズに見られる傾向です。

現在市販されている，各社の多くのズームレンズも， F 数，ズーム比 Z ，最大画角，収差補正状況などにそれぞれ特長がありますが，変倍の原理は同じです。

5-4 超広変倍域ズーム・レンズ

ズーム比をもっと大きくするには，新しい考案が必要です。

図 27 はシュナイダー社（西ドイツ）のカル・マッハーが発明した，TV ヴァリオゴンという，ズーム比 30 倍， $F2.1$ のズーム・レンズ (U.S.P. 3.912.373, Ex. 1,

1975 年) です。31 枚構成で，最長焦点距離（望遠端）600 mm，最短焦点距離（広角端）20 mm です。画面のサイズは 12.85 mm×17.12 mm（対角線 21.4 mm）で，これは広角端で画角直径 56° に相当し，ズーム・レンズとしては特記すべき広角です。

31 枚の単レンズは G_1 から G_8 までの 8 群に分かれています。トップの G_1 群は近距離の物体にピントを合わせるときに動かします。 G_2 と G_5 と，マスター・レンズ G_8 が固定していて， G_8 の後ろに 3 色撮り分けのビーム・スプリッター・プリズム P がはいります。絞りは G_5 のなかにあって，ズーミングに連動します。

焦点距離 20 mm から 294 mm までのズーミングは第 1 変倍系 G_3 と第 1 補償系 G_4 を動かして行ない，この間の明るさは $F2.1$ に保たれます。このとき G_5 から G_8 までは動きません。

つぎに，焦点距離 294 mm から 600 mm までは， G_6 が第 2 変倍系， G_7 が第 2 補償系として作動し，このとき G_2 から G_5 までが固定しています。この間のズーム比は約 2 倍ですが，明るさは $F2.1$ から $F6.3$ まで変わります。焦点距離 600 mm まで $F2.1$ に保つことは，物

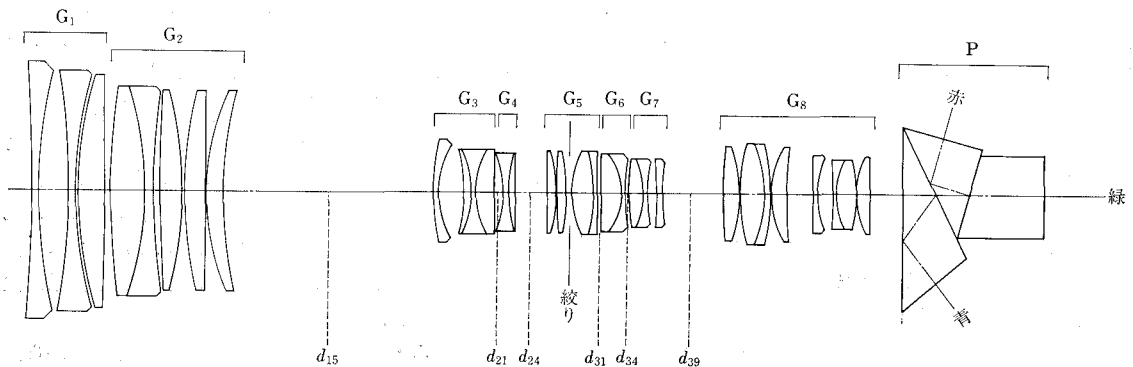


図 27 シュナイダー TV ヴァリオゴン 20~600 mm $F2.1$ ~ $F6.3$

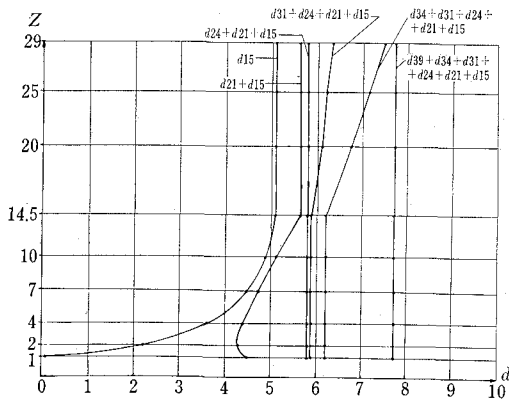


図 28 TV ヴァリオゴンの各レンズ群の動き

理的にも収差的にも無理でしょう。

図 28 は、ズーム比 Z (縦軸) とレンズ間隔 (横軸) の関係をしめたものです。

第 1 変倍系 G_3 , 第 1 補償系 G_4 , 第 2 変倍系 G_6 , 第 2 補償系 G_7 が、すべて発散系のレンズ群であることに注目して下さい。すなわち、このズーム・レンズの構成原理は、 G_1+G_2 , G_5 , G_8 という集束レンズ系と、 G_3 , G_4 , G_6 , G_7 という発散レンズ系を同軸上に重ねたものです。ただ焦点距離を 20 mm から 600 mm まで変える、像の位置を一定に保つというだけなら、凸レンズ 3 枚、凹レンズ 4 枚で済みます。それなのに実際には 31 枚ものレンズを使うのは、まったく収差補正のためです。

5-5 分析用超遠心機光学系

話がかわって、こんどは超遠心機光学系について説明しましょう。

遠心 (分離) 機は病院で臨床検査に広く使われていますが、これを改良して回転数を大幅に増加した分析用超遠心機は、核酸、ビールス、巨大分子などの研究用として、現代のバイオテクノロジーには欠かせない測定器になっています。

血清分離などに使う簡単な遠心機は、ローターの回転数毎分 300 ないし 4000、試料にかかる最大遠心力 2000g くらいまでです。ただし g は重力加速度です。

分析用超遠心機では、たとえば日立工機の SCP 85 H 型の場合に、最高で毎分 85,000 回転、最大遠心加速度 615,700g に達しています。これはたぶん世界最高の数字でしょう。

分析用超遠心機はベックマン社 (アメリカ), MSE 社 (イギリス), MOM 社 (ハンガリー) の製品もあります。MOM 社は、有名なエトベッシュ (R. von Eötvös) の実験 (1896 年, 1922 年) の精密ねじり秤を製作したことで知られています。

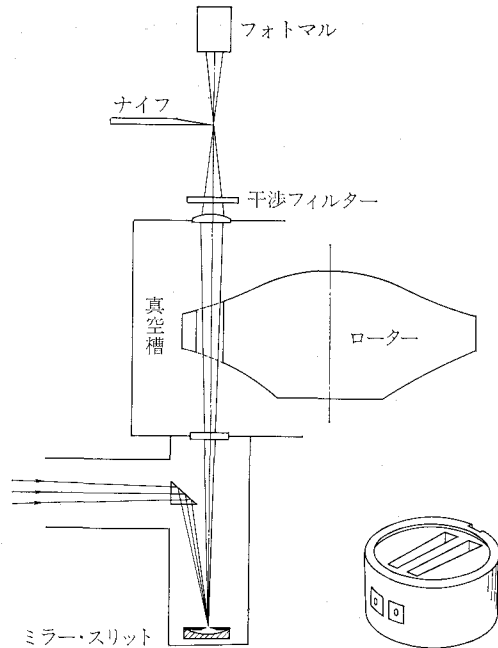


図 29 超遠心機光学系の一例 図 30 試料を入れるセル

分析用超遠心機はいずれも、強い遠心加速度をかけた物質に光を通して、

1. 試料各部の光 (可視, 紫外) の吸収を走査します。蛋白質や核酸が特定波長で強い吸収をしめすからです。
2. 試料中の屈折率勾配の変化をシュリーレン法で観測します。
3. レーリー干渉計によって干渉縞の移動を観測して、濃度や分子量を正確に測定します。

光学系の構成原理や使用波長は各社それぞれ特色を持っています。図 29 は MSE 社の超遠心機光学系の要領です。図 30 は溶媒と試料を入れるセルで、これをローターに装着するのです。光学系は各社とも企業秘密で抽象的なことしか発表していません。ここでは、重力の 60 万倍以上の力がかかっている液体でも、光学的に性状を測定できるということを皆さんに知って頂ければうぶんです。

* * *

訂正

2月号 53 ページ左側, 下から 5 行目

正	誤
±0.05%	±0.5%