

光学器械を使う人のために

—第3回 物体をゆがめて写すレンズ—

吉田 正 太 郎*

3-1 広角写真レンズ

一般のカメラでは画面の対角線の長さとはほぼ等しい焦点距離のレンズを使用することが多いので、これを標準レンズといいます。 $2 \cdot \tan^{-1} 0.5 = 53.13^\circ$ ですが、実際には、有効な画角直径が 45° ないし 60° くらいの写真レンズは標準レンズと考えてよいでしょう。

しかし、1回の飛行でできるだけ広い地域の地図を作りたい航空写真とか、建築物の全体を撮影したいのに引きがない（カメラを後退させる余地がない）などという場合には、もっと広角な写真レンズが必要です。たとえば図11は、1933年にカール・ツァイス社のR. リヒターが発明した(D.R.P. Nr. 636167, 例2)トポゴンという広角レンズです。内側の強く彎曲したメニスク・レンズは重フリント SF 18 で作られていて正確に対称型ですが、重クラウン SK 16 を用いた外側の2枚のレンズは、わずかに非対称になっています。

トポゴンは簡単な構造の割りに性能が良く、公称はF 6.3 ですが、F 8 に絞れば像は非常にシャープです。歪曲収差は図12のとおりで、画角直径 100° という非常な広角にもかかわらず、全画面で歪曲が $\pm 0.2\%$ 以内におさまっています。また、非点収差の補正も非常に良好で、像面はほとんど平面に近く、焦点距離 5.5 cm のトポゴンを使った写真セオドライトでは平面乾板を使用し

ました。焦点距離 10 cm のトポゴンは航空写真機に盛んに用いられ、18 cm × 18 cm の画面のなかの直径 21 cm の部分が有効でした。

広角写真レンズは戦後ますます改良されましたが、性能アップのためにはレンズの構成枚数を増加するほかはありません。たとえばツァイス社（西ドイツ）が1977年に発表した広角レンズは F1.25 で、画角直径 78° ですが、これは11群13枚構成です。(U.S.P. 4.025.169)。

3-2 画面周辺の明るさ

ところで、広角レンズでいちばんこまることは画面周辺部の明るさが、画面中心部より暗くなることです。

図13において光軸上の像点をP、光軸から角 α だけ離れた像点をQとすると、Qにおける照度は、Pにおける照度の $\cos^4 \alpha$ 倍になります。これを \cos^4 法則といいます。

実際にはレンズのガラス面での反射や、ガラス内の光の吸収、さらには金枠による口径食（ビニエッチング）などによって、斜めに入射する光線は、 α の増加とともに \cos^4 法則よりもっと急激に暗くなるのがふつうです。これは星野写真などでも気づくことがあります。

\cos^4 法則による減光を防ぐには、画角 α が大きくなるほど、しだいに像が圧縮されるようなレンズを作れば

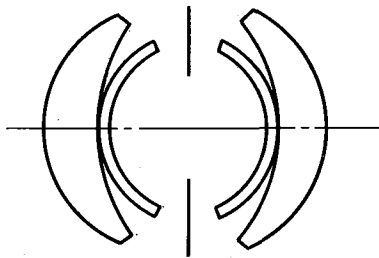


図 11

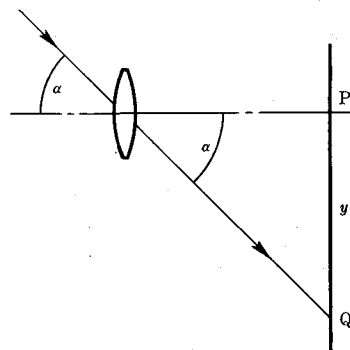
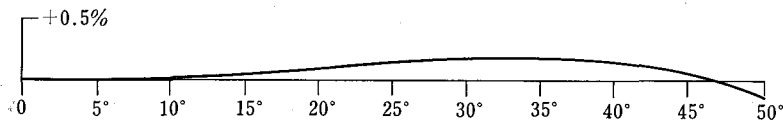


図 13



▲ 図 12 トポゴンの歪曲収差

* Shotaro Yoshida

よいわけです。すなわち、近軸光線で成立する $y=f \cdot \tan \alpha$ (1月号の(1)式) という関係を破棄して、故意に大量の歪曲を発生させるのです。

y と α がどのような関係式を満足すれば、像面の明るさが至るところ一定になるでしょうか。これは広角度の測光などの場合に必要なことですね。アメリカ連邦標準局のガードナー(1947年)は、その条件として $y=f \cdot \sin \alpha$ を提示しました。もちろん、口径食そのほかの光量損失は無視しての話です。しかし、これに近い歪曲を持ったレンズは、現在もまだ設計されていません。

3-3 トポゴンとレクチファイヤー

第2次世界大戦中にドイツ軍が画角直径 130° の航空写真レンズを使っていたことが、終戦後に判明しました。しかし、 $\cos^4 65^\circ = 0.0319$ ですから、ふつうに広角レンズなら写野周辺の照度が、写野中心のその 1/30 以下になってしまいます。どのようなラチチュードの広い写真感剤を使っても、どうにもならないでしょう。

画角直径 130° のレンズはプレオンといい、やはりツイイス社のリヒターが設計したのです (U.S.P. 2,247,068, 1941年6月)。図 14 はその断面で、フィールド・コンプレッサーという2枚構成の色消凹レンズ A (直径 30 cm) の平面側が物体のほうに向きます。画角(半径) 65° の光線が A を通ると画角 40.7° に縮小されて主レンズ B に入射し、絞り C、フィルター D を通って、フィルム面 E に結像します。主レンズ B は実は、焦点距離 72.5 mm, F8 のトポゴンです。

図 16 の1の線はプレオン・レンズの歪曲で、 $y=f \cdot \alpha$ という式に非常に近いのです。曲線2は $y=f \cdot \tan \alpha$ 、すなわち歪曲のないレンズです。曲線3は $y=f \cdot \sin \alpha$ 、すなわち像面照度均一なレンズの場合です。

プレオンで撮影した航空写真から地図を作製するには、図 15 のような、プレオン・レクチファイヤーとい

う引伸機にかけて焼付けます。Bはコンデンサー、Cがプレオンで撮影したフィルム、Dが投影レンズ系、Eが印画紙です。引伸機全体の高さが約 1.5 m ということから、各レンズの大きさも想像できます (J.O.S.A. 38,

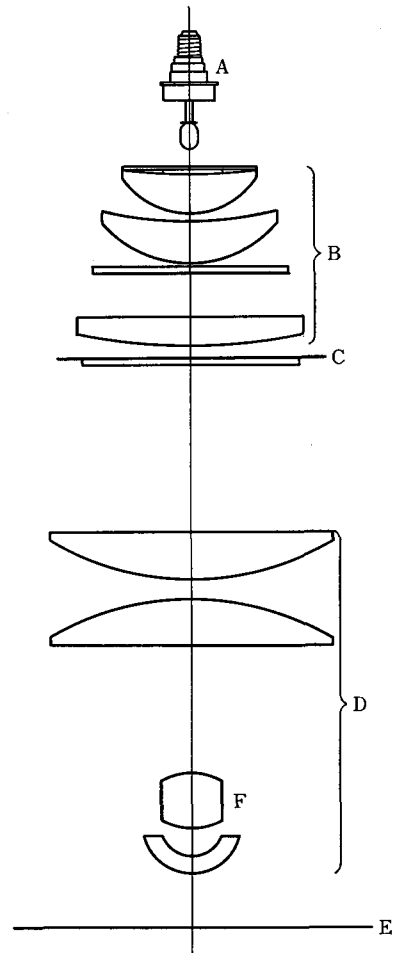


図 15 プレオン・レクチファイヤー

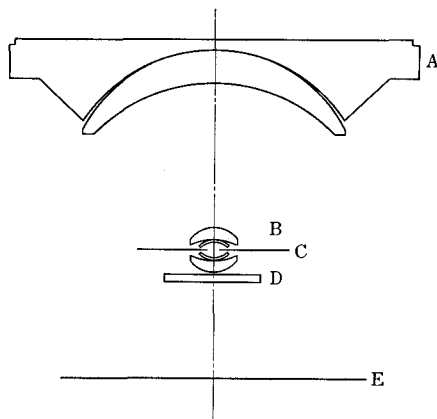


図 14 プレオン・レンズの光学系

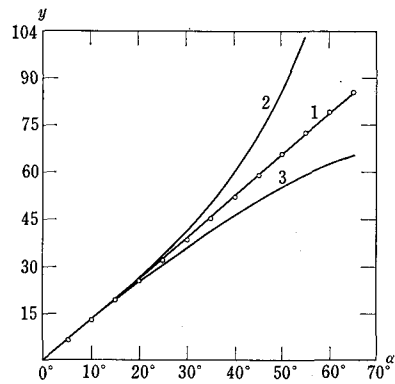


図 16 画角 α と像の大きさ y の関係

1. プレオン・レンズ
2. 歪曲のないレンズ
3. 像面照度均一のレンズ

421, 1948 年).

3-4 魚眼レンズ

プレオンのように像長 y が角距離 α に正比例するレンズは、広角の星野写真撮影などにも有用ですし、周辺減光も防止できるわけです。このようなレンズを一般に魚眼レンズといいます。

図 17 はユーゴスラビアの F. J. ハブリチェックが 1951 年に発表した、2 枚構成の簡単な魚眼レンズです。レンズは 2 枚ともクラウン・ガラスで、全系の焦点距離は 10.3 mm です。ハブリチェックは、これをライカ・カメラに取り付けて F10 に絞り、淡黄色のフィルターを使って、直径 200°, すなわち地平線下 10° までの全天空の雲を見事に撮影しました。図に 20° ほどの主光線を記入しましたが、物体を見る角度と、フィルム上の長さが正比例していることがわかります (J.O.S.A. 41, 1058, 1951 年)。

ふつうの広角レンズでは、画角直径 180° (全天) のときは、(1) 式によって無限大の広さのフィルムが必要

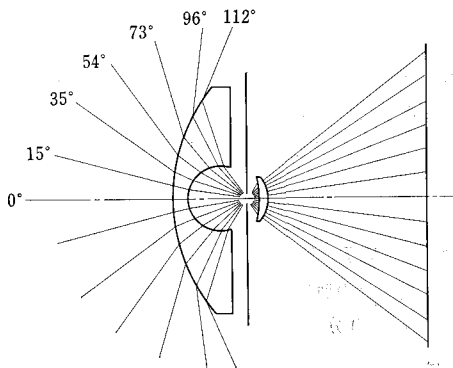


図 17 ハブリチェックの魚眼レンズ

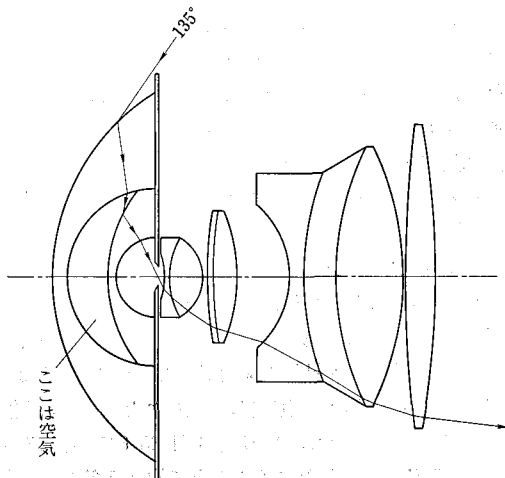


図 18 オランダ T.N.O. の 270° 魚眼レンズ

ですが、魚眼レンズではそれ以上の広角も撮影可能です。さらに画角の大きい例として、1957 年にオランダのファン・ヒールらが発明した画角直径 270° の魚眼レンズを 図 18 にしめします (U.S.P. 2,947,219, 1960 年)。焦点距離 12.3 mm, F10 で、フィルム・サイズは 60 mm×60 mm でした。最周辺の、画角半径 135° の主光線を計算して、図に記入しておきました。この魚眼レンズは 6 群 10 枚構成の高級な設計で、7 種類の光学ガラスを使用しています。発明者らの所属機関 (オランダ国立防衛科学研究委員会, 略称 T.N.O.) から想像して、たぶん軍事目的に開発したのでしょう。

画角の広い魚眼レンズでは、半球またはそれよりも深い凹面を持ったレンズが必要になります。半球面を 180° と表現することにして、私の経験では 170° までの凹面は特に支障なく研磨できますが、それ以上になると周辺が磨き残ります。180° 以上の超半球になれば、ふつうの方法で磨いては、研磨皿を取出すことさえできません。

ところがソ連では、ゴム風船のようなものを使って超半球の凹面を荒摺りする方法を考えたようです。その面を磨いて透明にするには、氷片と混ぜた研磨剤を吹きつけるといいます。図 17 のハブリチェックの魚眼レンズも超半球の凹面を使っていますが、これもそのような技術で作ったのかもしれない。

3-5 ツガミラマ全天映画

1970 年の大阪万博のとき私は、津上製作所 (現在ツガミ) の社長から全天映画装置の設計を依頼されました。プラネタリウムのように多くの投影機を組み合わせるのではなく、1 本のフィルムを、1 個のレンズで、ドームの半球内面に映写するのです。

撮影機のほうは齧送り部分の改造だけで済みますが、むずかしいのは投影機です。フィルム 1 コマの画面は直径 23 mm の円形で、ちょうど 10 円銅貨の大きさですが、これを直径 20 m の半球の内面いっぱいには映写すると、面積で約 150 万倍の拡大です。映写機の拡大率は面積でしめすのがふつうですが、大きな映画館でも 40 万倍を超える例はありません。

光源は 8 kW のキセノンランプですが、フィルム面にタバコを持っていくと瞬時に点火します。実際の映写では、フィルムの 1 コマは 0.02 秒間だけ照らされるので燃えないで済みます。しかしもちろん、光源やゲート付近の冷却、引火防止の安全装置などについて、津上の技術陣は最大の努力を払いました。

投影レンズのほうも、解像力や色表現の光学性能ばかりでなく、耐熱性が重要です。色消しですからクラウン・ガラスもフリント・ガラスも使いますが、透明度や耐熱性にも注意してガラスを選び、レンズの接着を避け、バ

ック・フォーカスを特別に長くしました。完成した魚眼投映レンズは6群6枚構成で、F2焦点距離8mm、画角は180°でした。

試写は大成功でした。しかし、フィルムの製作は多くの未知に直面しました。ジェット・コースターの場面なら迫力満点だろうと、はじめは誰も考えましたが、実験してみると案外つまらないものでした。鉢のなかで泳いでいる金魚を下から撮影したフィルムは、映写してみるとたいへんな迫力でした。全天映画といっても、やはり観客席の正面があることもわかりました。また、フィル

ムが高熱にさらされるので、50回も映写すると赤だけ褪色してとんでしまうことも経験しました。

「オーストラリアのバリア・リーフへ行って、鯨が人を襲うところを撮影してこい」と社長は命じましたが、これはいろいろな事情で実現しませんでした。ジョウズ(人喰い鯨のアゴ)という外国の恐怖映画が多くの観客を動員したのは、それからずっと後のことでした。

それにしても、多くの人たちが「魚眼というのは妙にゆがんで写るレンズだ」としか考えていないことは、設計者から見ればほんとうに残念です。

NEWS

浦田・新島新彗星 (1986 o)

静岡県清水市の浦田武氏は、小惑星の協同観測者である群馬県尾島町堀口の新島恒男氏が1986年10月30.57911世界時に、口径31cmの反射鏡で撮影したフィルム上で、光度16等級の移動天体を発見し、直ちにIAU小惑星中央局へ連絡した。IAUでは1986UDと仮符号を付けたが、11月3日に高知の関勉氏による写真観測で、コマが認められて、彗星であることが判明した。

MPC 11339 に発表された軌道要素は次の通りで、周期6.42年の短周期彗星であり、日本のアマチュアが発見した彗星としては最も暗いもので、日本人として46個目、周期彗星で7個目に当る。

$T=1986 \text{ Nov. } 23.132 \text{ ET}$

$$\left. \begin{array}{l} \omega = 21^\circ 566 \\ \Omega = 31.269 \\ i = 24.044 \\ q = 1.44485 \text{ AU} \end{array} \right\} 1950.0 \quad \left. \begin{array}{l} e = 0.58192 \\ a = 3.45595 \text{ AU} \\ P = 6.42 \text{ 年} \end{array} \right.$$

(香西洋樹)

日本人4人による新彗星 (1987 c) の発見

熊本県水俣市の西川登氏、長野県佐久町の高見沢今朝雄氏、岡山県津山市の多胡昭彦氏と埼玉県本庄市の三ツ間重夫氏は、うお座に9等級の新彗星をそれぞれ独立に発見し、東京天文台へ連絡して来られた。比較的近くに Sorrells (1986 n) 彗星があることから、発見者の方々も大いに悩まれたようであった。東京天文台では確認の手配をする一方、4人のベテランによる観測であることから、IAU天文電報中央局へ通報した。IAUから折り返し、Nishikawa-Takamizawa-Tago (1987 c) 彗星として通報があった。4人の方々の発見時刻、発見位置などは次の通りである。(発見時刻は日本標準時)

西川氏 1987年1月19日 20^h35^m 発見、20日に移動を確認後通報。15cm, F8, 屈折。

高見沢氏 1987年1月20日 18^h35^m 発見、15cm 双眼。
多胡氏 1987年1月20日 19^h20^m 発見、15cm 双眼。
三ツ間氏 1987年1月20日 19^h25^m 発見、12cm 双眼。

多胡氏にとっては Tago-Honda-Yamamoto (1968 IV), Tago-Sato-Kosaka (1969 IX), Suzuki-Sato-Seki (1970 X) に続く4個目の発見、高見沢氏にとっては Takamizawa 周期彗星 (1984 VII) に続く2個目の発見になる。西川氏は現在65歳になられる方で、Haneda-Campos 周期彗星の発見者・羽根田利夫氏が発見当時69歳であったのに次ぐ高齢である。

なお、彗星名には発見順に名までの3名前が付けられることから、第4発見者・三ツ間重夫氏の名前は付けられなかったが、独立発見の名誉はそこなわれるものではない。

(香西洋樹)

Terasako 彗星 (1987 d) の発見

静岡県浜松市の航空自衛官・寺迫正典氏は、1987年1月24日18時30分(J.S.T.)に、ちょうこくしつ座に8等級で視直径3分角の彗星状天体を発見し、翌25日18時10分(J.S.T.)に東北へ約1.7度移動していることを確認して、東京天文台へ連絡して来られた。東京天文台では、夕方の南西の超低空であり、連絡を受けた時には、すでに国内での確認は不能であったので、IAUへは彗星かも知れぬとして連絡した。翌26日に、堂平観測所の50cm彗星写真儀で、この彗星像の写真が得られ、彗星であることが確定した。ちなみに、この彗星は、日本人による48番目の発見である。(香西洋樹)

ヘルクレス座 1987年新星

兵庫県加古川市の菅野松男氏は1987年1月27.847日(時刻は世界時)に撮影したヘルクレス座の写真フィルム上に約8等級の新星状の像を発見し、翌1月28.8日に確認して東京天文台へ連絡して来られた。一方、岡山県倉敷市の本田実氏も、1987年1月25.847日、27.85日、28.85日に撮影したフィルム上で約8.5等級の新星状の像を発見して東京天文台へ連絡して来られた。東京