

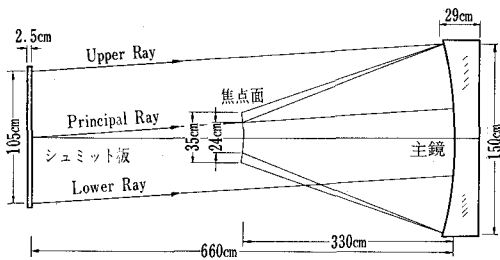
## 計画中の大型シュミット望遠鏡について

石 田 憲 一\*

天体望遠鏡には、古くから屈折型と反射型があってそれぞれ一長一短のあることはよく知られたことである。すなわち、屈折型では比較的広い視野に良質の光学像が得られるが、色収差を広い波長範囲で完全に抜くことには困難がある。一方、反射型では元来色収差はないが、各種の工夫をしても非対称収差のために視野はあまり広くとれない。それで天文観測の目的に応じて、屈折型または反射型が採用されてきたわけで、主として望遠鏡を巨大な集光器として単一の天体の光を分光器等に導入するために用いる場合には反射型が、主としてせまい波長範囲で良質の光学像を必要とする場合には屈折型が用いられてきた。

シュミット型の天体望遠鏡は、ここに第3の可能性を与えたのである。すなわち、天体望遠鏡としては驚異的な広い写角にわたってほとんど非対称収差がなく、しかも可視領域全域でほとんど色収差のない視野が実現したのである。1931年ハンブルク天文台のB.シュミットが試作に成功したのは、球面鏡の前方に薄い補正板をおいたもので写角は $15^\circ$ におよんだ。

銀河系の構造、宇宙の大きさを研究するために、星空をくまなく探して行こうという目的のためには、シュミット型の望遠鏡において他にはない。シュミット望遠鏡の写角を小さく見積って $4^\circ$ としても、岡山天体物理観測所の188センチ鏡の写角は約 $20'$ なので、1回の撮

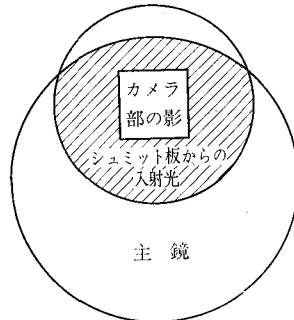


第1図 シュミット望遠鏡の光学系(横方向を縦にくらべて2分の1にしてあることに注意。)

影の写野面積は144倍。口径比による露出時間のちがいを考慮すると、シュミット望遠鏡で天の河に沿った領域の写真をとるのに5年かかるとすると、188センチ鏡では2000年となってシュミット望遠鏡なくしてはそのような企てができないことは明らかである。

シュミット型天体望遠鏡の光学系は、シュミット板(または補正板と呼ばれる)の口径 $D$ 、主鏡(球面反射鏡)の直径 $R$ 、焦点距離 $f$ の3元で表わされ、 $D/R/f$ のように略して書くことが多い。東京天文台における本計画のシュミット望遠鏡の3元は、実際に望遠鏡の性能としての、1) 写野角の広さ、2) 限界等級と分解能、3) 限界等級に至る露出時間、4) 色収差のない波長範囲などの要請の相互間の絡みあいと、その他の制約を検討して、105 cm/150 cm/330 cm が適当であると考えられている。ここでは、それらの性能を順を追って記述して見たい。

写野角の広さは、まずシュミット望遠鏡においては焦点が、シュミット板と主鏡の間にあるために、シュミット板を通過して主鏡に入射する光をささげる位置に写



第2図  $6^\circ$ 角の写野の周辺に焦点を結ぶ光の量は、依然として光軸上の光量に較べて80%を保っている。

真乾板等を格納するカメラ部があることを考慮して決めなければならない。ここでシュミット板を通過する光の20%位までがカメラ部でささげられてもいいとすれば、 $D=105$  cmのシュミット板に対して $35$  cm角位までの写真乾板の使用が可能となる。焦点距離 $f=330$  cmの場合に $35$  cm角は写角 $6^\circ$ 、対角線で $8^\circ 30'$ となる。極わめて現実的な制約となり得ることとしては、写真乾板の大きさについてのIAU(国際天文連合)の勧告についても考慮を払う必要がある(天文月報61巻(1968年)1号5頁)。すなわち、写真乾板の調達に鑑み天文観測で使う乾板の大きさを特に差支えないかぎり、いくつかの約束の大きさに合わせようというもので、その中でわれわれのシュミット望遠鏡に使用可能なものは $24$  cm角のみである。この場合 $f=330$  cmに対して写角 $4^\circ 10'$ 、対角線で $5^\circ 6'$ となる。さて写野内で精度のいい測光観測をするためには、考え得るこのような写野の全面にわたって、シュミット板を通った入射光がすべて主鏡で反射されて焦点に像を結んでいることが望ましい。主鏡

\* 東京天文台

K. Ishida: The Schmidt Telescope under the Planning

の大きさが充分でないと写野の周辺部では光量が足りなくなる。シュミット板の上端を通過した光線が主鏡の上端を外れるような臨界入射角は次の式であらわされる。

$$\tan \phi = \frac{(R-D)/2}{2f} \quad \dots\dots(1)$$

上の式に 105/150/330 cm の数値を入れて見ると、 $\phi \approx 2^\circ$  で、写角  $4^\circ$  (これを Vignetting free の写角という)。しかし本計画案のように口径比の明かるい光学系では入射光の中心の主光線が主鏡を外れる臨界角は約  $6^\circ$ 、したがって写角  $12^\circ$  になって光量が 50% ををわることになる。したがって写角  $6^\circ$  の写野の周辺においても依然として光量は 80% を保つことになり、Vignetting の影響がそれほど大きいとはいえない。

次にこのシュミット望遠鏡の性能として、限界等級と分解能について考えて見たい。まず分解能は焦点距離  $f$  が充分長くて (3) 式の第 2 項が第 1, 3 項に較べて充分大きいことが望ましい。本計画では像のスケールは 1 mm が約  $60''$  に相当する。限界等級はどのくらい微光の天体まで観測できるかということで、これは空の明るさおよび大気のゆらぎ (シンチレーション) による星像の見かけの大きさと共に変化するものであるが、望遠鏡の光学系としてはやはり主として焦点距離によってきまってしまう。空の明るさが感光するまで充分な露出時間をかけると、限界等級は次のようにならわされる。

$$m_l = 1.22 + 5 \log f - 2.5 \log \varepsilon. \quad \dots\dots(2)$$

そこで、

$$\varepsilon = p + 4.85 \times s'' \times f \times 10^{-6} + 1.22 \times F \times \lambda \times 10^{-4} \quad \dots\dots(3)$$

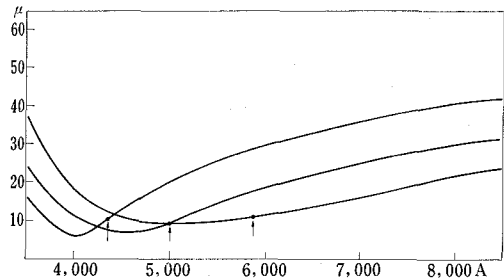
ここに  $p = 0.002$  cm で写真乾板の粒子による分解能を、 $s'' = 2$  秒角でシーイング・サイズの大きさ、 $f = 330$  cm として第 2 項は大気のゆらぎによる分解能 (0.003 cm) を、 $F = f/D = 3.1$  で口径比、 $\lambda = 0.46 \mu$  として第 3 項は点光源の回折像の大きさ (0.0002 cm) をあらわす。したがって第 3 項は充分小さく、第 2 項が優勢である。(2) 式の第 1 項は空の明るさで定まる定数 (1 平方度に 10 等星の明るさの星の数で 205 個 = 22.0 mag/□' の時に 1.22 となる)、第 2 項は焦点距離、第 3 項は星像の直径で定まる。(2) 式に (3) 式を代入して書きなおすと、

$$m_l = 2.5 \log f - 2.5 \log s'' - 2.5 \log L_{\text{sky}} + \text{Const.} \quad \dots\dots(4)$$

上の式で  $L_{\text{sky}}$  は空の明るさをあらわし、限界等級は高瀬氏の稿にあるようになって、焦点距離が長く口径比が明かるいほどいいことがわかる。しかし写真乾板の大きさに制限があるとすれば、写野の広さと相反の関係にあるし、口径比は後に述べる色収差からの制限を受ける。

それでは、限界等級まで撮影できる露出時間はどの位かという、これは口径比  $F$  によって定まるわけで  $F$

の 2 乗に比例する。もちろんこれは空の明るさにもよるわけだが、本計画の口径比  $F/3.1$  の場合 UBV のような可視域で 800 A 位の半値幅の光で写真をとれば 15—30 分が露出時間の上限となるので問題はないが、H $\alpha$  (6563 A) のあたりを 300 A 位の半値幅でまたはもっと長波長の領域を 1000 A 位の半値幅で Eastman Kodak IN 乾板を用いて写真をとると露出時間の上限は 2 時間位になる。本計画のように写野の広い望遠鏡の場合、その写野の中で大気差の量の天頂距離による差が、露出時間中に写野の天頂距離が変化するために写野



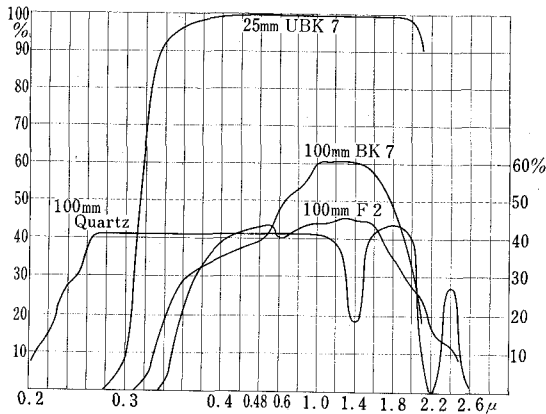
第 3 図 120/210/360 cm  $F/3$  のモデルで、基準波長 4358 A ( $g$  線) と 5876 A ( $d$  線) についての計算値 (川井・小暮) から、5000 A の場合を内挿でかきわえた光学像の大きさ。

内で変化する量がちがうために、写野の中心の星を用いて望遠鏡をガイドしても写野の上端と下端で星像の移動が生ずる。写野  $6^\circ$  の周辺で、大気差のために 0.5 秒角のずれを生ずる時角は、緯度 35 度の地点で、子午線通過を真中にして赤緯  $60^\circ$  の天体を 80 分、 $30^\circ$  で 170 分、 $0^\circ$  で 140 分、 $-30^\circ$  で 36 分の露出時間しか可能でない。したがって長時間露出の場合は観測時間が制限されてくるので、このことから口径比が明かるいことが望ましい。

最後に色収差のない波長範囲について検討する。元来シュミット望遠鏡には色収差はないはずであるが、この薄いシュミット板も単なる平面ガラスではないために、色収差極小型を採ってもわずかの色収差が生ずる。色収差による像の大きさが、写真の粒子による分解能の半分をこえなければ無視できるので、

$$\delta = \frac{f}{3F^3} \cdot \frac{n' - n}{n - 1} \lesssim \frac{1}{2} p \quad \dots\dots(5)$$

ここでシュミット板の設計値の基準波長におけるガラス材の屈折率を  $n$ 、観測する限界波長における屈折率を  $n'$  とする。いま基準波長を  $\lambda 4600$  A として両端の限界波長を  $\lambda 3500$ — $7000$  A として、Schott の UBK7 相当のガラス材を考えると、色収差像の大きさを 2 秒角以内にするためには口径比  $F \geq 3.0$  が要請される。(5) 式からわかるように、色収差像の大きさは口径比  $F$  の 3 乗に反比例するので、 $F \geq 3.0$  という要請は  $\lambda 3500$ — $7000$  A という波長範囲で良質の光学像を得るためのかなり強い



第4図 いくつかの光学材料の透過率

条件となる。なお、広い波長範囲にわたってそれぞれの波長で焦点距離を変えることによって良質の像が得られるかも知れないという希望は、スポット・ダイヤグラムによる研究の結果（川井誠一・小暮智一：大阪工業技術試験所季報（1969）20巻2号149頁）否定されている。基準波長から外れた波長においては、シュミット板が球面収差の補正板としてよく働いていないことと、他の収差を導入してしまっていることによるのであろう。注意すべきことは、ガラスの屈折率の波長に対する変化でもわかることであるが、色収差像は短波長側には急に悪化

するが、赤外に向ってはそれほどではない。このことはガラスの波長透過率と合わせて考えねばならないので、厚さ2.5cm UBK7の相当のガラスの透過曲線を示す。

もう一つ考察すべきことは、基準波長の光に対してもシュミット板が球面収差の補正板として効く限界の写角があることである。球面収差像  $\delta_{sph}$  が写真の粒子  $p=0.002\text{ cm}$  より小さい写角を  $2\phi$  とすると、

$$\delta_{sph} = \frac{f \sin^2 \phi}{48F^3} \leq \frac{1}{2}p \quad \dots\dots(6)$$

本計画の数値を入れてみると写角は  $7^\circ$  となっており、これによる制限を受けない。

最後に、カメラ部について、焦点面が球面になるという事は、シュミット望遠鏡が主鏡に球面鏡を用いて非対称収差をさけて、シュミット板で他の収差を導入せずに球面収差を除去しようとしていることから当然のことである。このために厚さ1mmのガラス乾板を撮影時に圧力を加えて球面に彎曲させて用いる。これをきらって、焦点面の直前に焦点面平滑化レンズその他を挿入することも考えることになる。

実際の観測には、各種の波長感度をもった写真乾板その他がカメラ部に装着され、各種のフィルターで波長の選択が行なわれるし、一方シュミット板の前に対物プリズムを装着することも考えられている。

## 西村製の反射望遠鏡

- 30cm “A” カセグレン・ニュートン兼用  
10cm 屈折望遠鏡 (f/15)
- “B” カセグレン焦点  
15cm 屈折望遠鏡 (f/12)
- 40cm “A” カセグレン・ニュートン兼用  
15cm 屈折望遠鏡 (f/15)
- “B” カセグレン焦点  
20cm 屈折望遠鏡 (f/12)



30 cm 反射望遠鏡

ニュートン・カセグレン兼用

株式会社 西村製作所

京都市左京区吉田二本松町27  
電話 (771) 1570, (691) 9589

カタログ実費90円郵券同封