

# 大型シュミット望遠鏡建設の現況

石 田 蕙 一\*

## 1. 序

大型シュミット望遠鏡の建設は、今なかばにさしかかっている。1971年に主鏡の素材を購入してから2年、本年度中に主要部分ができると、来年度は望遠鏡の現地据付から試験観測にはいることになる。ここで、設計と製作の経過と現状を断片的に御報告したい。

## 2. 主 鏡

主鏡の素材が日本光学大井工場へ搬入されたのは、昭和46年(1971)であった。そして現在、研磨が終りアルミ蒸着が行なわれて曲率半径 6571 mm の球面鏡(シュミット光学系では焦点距離 3300 mm とする)になっている。球面鏡の外径は 1555 mm で縁厚は 288.5 mm、中央の穴径は 159 mm で中心厚は約 240 mm、重量は約 1.3 トンある。

主鏡の素材決定には迂余曲折があった。従来のパイレックス・ガラスは、線膨張率  $\alpha = 3 \times 10^{-6} \text{ deg}^{-1}$ 。主鏡の中央と縁で  $2^\circ\text{C}$  の温度差が生ずると、主鏡面の中央と周縁では球面から  $1.8 \mu\text{m}$  の差を生じ、星像に  $1.4$  秒角の乱れを生ずる。一方、ゼロ膨張結晶化ガラスは、線膨張率  $\alpha = 0.5 \times 10^{-7} \text{ deg}^{-1}$  ( $-20^\circ\text{C} \sim +30^\circ\text{C}$ ) と云われ、観測状態において主鏡内の温度差による鏡面の変形が星像に及ぼす乱れは無視できる。

但し、温度差の影響は、鏡面の変形について無視できても、鏡面からの熱放射が起す乱気流による星像の乱れ(1秒角位になる)、鏡面への結露、鏡筒の伸縮などの問題が残る。鏡筒内の熱放射による乱気流や結露をさけるにあたっては、鏡筒を断熱材で包み密封して空調装置で乾燥空気を送り、鏡筒の伸縮については、鏡面とカメラ部の間の距離を3本のスーパー・インバーの棒でコントロールすることにした。スーパー・インバーの線膨張率は  $\alpha = 1 \times 10^{-7} \text{ deg}^{-1}$  で、季節による温度差を  $40^\circ\text{C}$  とすると、焦点距離 3300 mm の伸縮は  $13 \mu\text{m}$  となつて、光学系の口径比 F3.1 を考慮すると星像の大きさに及ぼす量は  $0.3$  秒角。鏡筒全体の伸縮は 5 mm で許容範囲 15 mm をこえない。従つて頻ばんに焦点距離検査を行なう必要はない筈である。

さて、主鏡素材の決定の話が横へ外れてしまったが、もとへ戻そう。ゼロ膨張結晶化ガラスは、日本でもはや

第1表 大型シュミット望遠鏡性能表

光学系	シュミット式(副鏡と組合せてカセグレン式にもできる)
補正板口径	105 cm
主鏡口径	150 cm
主鏡焦点距離	330 cm(副鏡との合成焦点距離 24 m)
明るさ	F 3.1(カセグレン式 F 23)
写野	約 $6^\circ$ 正方(カセグレン式約 $10'$ 径)
限界等級	約 20 等級
波長範囲	$3200 \text{ \AA} \sim 8500 \text{ \AA}$
イメージサイズ	$3500 \text{ \AA} \sim 6500 \text{ \AA}$ では $1''$ 以内
使用乾板	14 inch 角および 24 cm 角
架台形式	フォーク式赤道儀
制御方式	ミニコンピューターによる赤経、赤緯のプリセット
駆動速度	$90^\circ/\text{min}$ , $1^\circ/\text{min}$ , $1' \sim 6'/\text{min}$
追尾精度	約 $1''$ (周期誤差にて)
案内望遠鏡	アクロマート
口径	20 cm
焦点距離	約 330 cm
視野	約 $1^\circ$ (フィールド側) 約 $10'$ (ガイド側)
総重量	約 60 トン

くから開発して(1962)、ヒーターの放熱棒や測定機の軸受に用いられていた。一方、ビール瓶や化粧品の大メーカーであるオーエンス・イリノイ社は、大型の光学望遠鏡用反射鏡の素材としてセルビット(Cer-Vit)を開発し AURA のキットピーク天文台で試用に供した(1964)。その後セルビットは、AURA がゼロ・トロロに、AAT がサイディング・スプリングにそれぞれ建造する 150 インチ鏡をはじめ多くの大型反射望遠鏡に採用された。西ドイツの光学ガラスの老舗ショット社でも、ゼロ膨張結晶化ガラスを開発してゼロデュア(Zero-Dur)と名付けた。マックス・プランクで計画中の 150 インチ用のガラス素材がすでにできているとのことであった。

そこでセルビットとゼロデュアのいずれをとるかという選択をせまられた。性能には殆んど差がない。ほんのわずかの値段の差でセルビットをとることになった。

この位の大きさの素材でも、ゼロ膨張結晶化ガラスは3週間でできてしまうという話のとおり、ものはすぐ送られて来た。研削面で整形して鏡面になる面はもう曲率半径 6600 mm に凹ませて、中央のカセグレン穴と、そこに研磨のときに当てる詰物もあった。セルビットの研

\* 東京天文台

K. Ishida: Present Status of the 105 cm Schmidt Telescope under Construction

磨については、まえもって送られて来ていた6インチ径のサンプルで実験が行なわれていた。

こうして、主鏡の研磨がはじめられたのである。

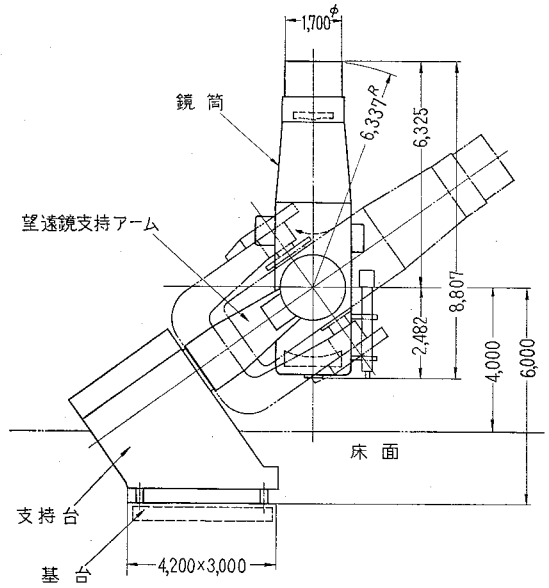
### 3. カメラ部

シュミット補正板の素材は日本光学の BSC7 で、厚さ 20mm とし中心波長 4800Å の色収差極小型とする。すでに研削が終って、これから主鏡に合わせて研磨にかかる段階である。

光学系は、シュミット補正板と球面鏡だけから成るクラシカル・シュミットを採用した。シュミット光学系の優れた点は非対称収差のないことであるが、欠点は焦点面の彎曲があることである。そこで写真乾板を焦点面に沿って彎曲させるか、さもなければ補正レンズを入れることになる。我々が前者を採ったのは、曲率半径 3300mm なら乾板を曲げられるだろうという見通しと、補正レンズで焦点面を平坦化した代償として導入される非対称収差を恐れたからである。

そこで先ずガラスのヤング率と引張り強さを用いて計算してみると、厚さ 1mm のガラス板なら大丈夫、厚さ 1.3mm だとおられるかもしれないということになった。次いで旭ガラス社の御厚意で、14 インチ角と 24cm 角でそれぞれ厚さ 1.0mm および 1.3mm の乾板用ガラス板をサンプルにいただくことができた。これらを曲率半径 3300mm に圧曲して見るとばねのように跳ね返ってくる。日本光学で乾板取枠の実物大模型をつくっていただいた。球面の圧曲板をぎゅっと押しつける力は 25kg 必要で、取枠はその重さも 15kg とボディビル用の道具位ある。ガラス乾板が取枠内で破損するのではないかとという危惧については、縁押えの材料や形状の工夫で、充分大丈夫という見通しが得られたようである。

しかし、これで問題が解決したわけではない。望遠鏡の鏡筒の光軸上に取枠をきっちりと載せることを、押釦ひとつで何回も何回も長年月にわたってできるようにしなければならない。機械的構造が非常に重要である。ヘール天文台の御厚意でパロマーの48インチ・シュミット望遠鏡の製作図面一式を送っていただいた。2つのみかん箱位の箱にぎっしり詰った図面の日付は、1943年、1944年などと書込まれてあり、あの戦争中だと思うと感無量である。何はともあれ、長所と短所のわかっている



第1図 各部の寸法

実物から学ぶべきものは食欲に学ぶことにした。

### 4. 対物プリズム

対物プリズムは、恒星の粗いスペクトル分類に使用するものと、微光天体のスペクトルの様子を見るためのものをつくる予定である。

前者は、 $H\gamma$  で約 200 Å/mm の分散で、フロントガラス F2 で頂角 4° のものである。厚さは 30mm から 107mm で重量は 230kg。限界等級はトレールをするかしないかでちがうが、空の背景にうずもれるのが、12.5~14.5等と考えられる。

後者は、 $H\gamma$  で約 800 Å/mm の分散で、クラウン・ガラス BK7 で頂角 2° のものである。厚さは 30mm から 69mm で体積は前者の 70%、重量は 50%。これもトレール幅やシーイングサイズによって、限界等級 14.0~16.0 までの天体のスペクトルをしらべることができる。

これらの対物プリズムは、鏡筒の先端において、180°回転をして、分散方向を逆向きにして撮影できる。分散方向が逆の1組の写真をプリンク・コンパレーターに載せて、同じスペクトル線の間の相互の距離を測定することによって視線速度の測定を行なう。

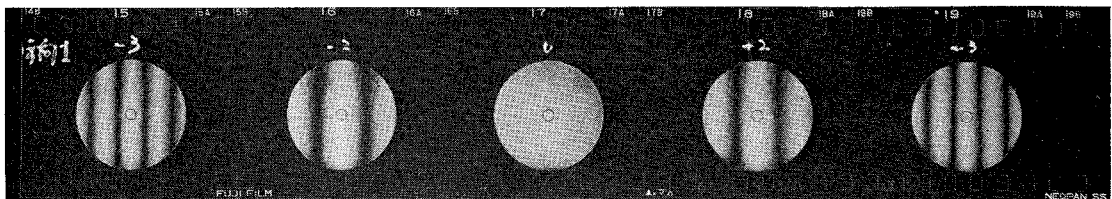


写真1 主鏡のロンキーテスト

ところで、さる天文台のシュミットは対物プリズムをつけてトレールをするとき、取枠を焦点面に沿って動かしている。それと関係があるかどうかかわかっていないが、子午線にまたがって撮影するとブレることがよくあるので、子午線を通過する撮影はしないことにしているそうである。

カメラ部については、よくよく注意を払う必要がある。対物プリズムをつけた場合のトレールは、案内望遠鏡の接眼鏡の視野のレチクルを動かして、赤緯方向に鏡筒全体を動かしてシングルトレールをするのがよさそうである。それは、鏡筒を極軸の回転で赤経方向にトレールすると、トレール方向は極域では大円から大きくはずれてスペクトル線が彎曲してしまうからである。それから、トレールを反復すると、星像のシンチレーションによる運動と駆動補正の不十分さ、写野内の微分大気差の量の時間的変化などで分解能が落ちるからである。

ここで参考までに云っておくとすれば、微分大気差の大きさが  $1''$  になるのは、時角2時、赤緯  $0^\circ$  で、1時間の露出をするとなれば写野中心から  $2^\circ$  離れたところということになる。天頂距離  $45^\circ$  あたりでの話である。

## 5. 色ガラス・フィルター

色ガラスフィルターは、鏡筒脇に三種類が格納されて電動で取替えられる。そのほか取枠にも付けられる。第1表のようなものを揃える予定である。いずれもショット社の色ガラス・フィルターで、約2mm厚で390mm角となる。

フィルターの種類についてであるが、3色測光といえばUBV系が広く行なわれている。短波長側のUは地球大気の大気吸収で制約を受けているのに対して、長波長側のVは初期の光電子増倍管の感度端できめられた。全天に精度のいい標準星の網を張ったUBV系は写真測光においても広く用いられている。しかし、バルマー不連続の短波長側にあるUを別にして、他の2色はより長波長側にとって、より大きい波長の差をとった方が、特に赤い星の測光には有利である。従って、UGR系も精度のいい標準星の網をつくるべきであるという声が高い。

第2表 フィルターの種類

フィルター (2mm厚)	50% 透過波長 (Å)	主な用途
UG2	3300, 3800	3色測光のU
GG385 (GG13)	3800	UBVのB
GG455 (GG5)	4600	UGRのG
GG495 (GG11)	5000	UBVのV
RG610 (RG1)	6150	UGRのR
RG645	6500	H $\alpha$
RG695	6900	近赤外

特に最近注目されているのは、UGR系のGに近いバンドである。コダックの乾板 IIIa-J にショットの色ガラスフィルター GG455 (GG5) をかけて、4600—5400Åの波長域を撮ると、強い大気光の O $_2$  のヘルツベルグ帯 (3000—4000Å) や [OI] の禁制線 (5577Å) をさけられるので、限界等級を1等級位のばすことができるというのである。

H $\alpha$  光をとりだすには、コダックの 103a-E 乾板に赤い色フィルターをかけて 300Å 位の半値幅のバンドで撮影して2時間の露出時間を要するであろう。

## 6. 架 台

鏡筒の長さは、シュミット望遠鏡においては、口径比が明るいにも拘らず、意外に長くなる。だいたいの目安として、焦点距離  $F$  の2倍の鏡筒の両端に、主鏡直径  $D$  の約  $(1/4)$  倍の主鏡金棒と、筒先の直径  $A$  と同じ長さの露防がけが付くことになる ( $L=A+2F+D/4$ )。この望遠鏡では鏡筒の長さは約8.8mになる。重心を下げるために約1トンの錘を主鏡金棒の下に付けて、鏡筒の筒先に装着する対物プリズムも含めると、鏡筒は約15トンになると思われる。

架台は、フォーク型赤道儀である。工場内組立の際の測定によれば、フォークのばね定数は、腕の間隔を1mm 拡げるのに8トンの力を要したとのことである。架台の溶接構造の箱形部の強度については、この上に鏡筒をのせた時に、東西両壁の間隔が0.01mm位拡がったに過ぎない。同時に箱形部をコンクリート・ピヤの上に支える足に、0.1mm位の縮みが起ったとのことであるが、これは高さ調整用のネジ山のなじんではなかった部分が圧着されたものと考えていい。更にこの同じ時、極軸の高度角は  $55''$  位下を向く形で変形している。これらの微小の変形は予想値に近く満足すべきものであろう。

光学系の安定性という面にかかわって来る鏡筒の撓み量は総合偏位で36秒角という測定値がでている。これは水平姿勢での撓み量であるが、筒先で光軸に直交する面内で1mmずれることになる。シュミット補正板は、光軸に直交する面内で光軸から1.5mm以上ずれると像に非対称収差を生ずるので、星の位置を測定して整約するとき星の明るさによって変化するゼロ次の補正項が入ってくる。この撓み量はかなりの余裕を見て計算された設計値0.5mmよりも大きい。組立時の光軸調整はいろいろの高度・方位角で入念に行なう必要がある。

望遠鏡の全重量は60トンで、溶接構造部の仮組立には主鏡などはダミー・ウェイトをつけて行なわれた。極軸の高度・方位角の調整は、長さ1mの棒を使って1人のできる。それというのも全重量60トンの殆んどは重心直下のボールでコンクリート・ピヤの上に支えられているからである。4本の高さ調整用のボルト付足で高度を調

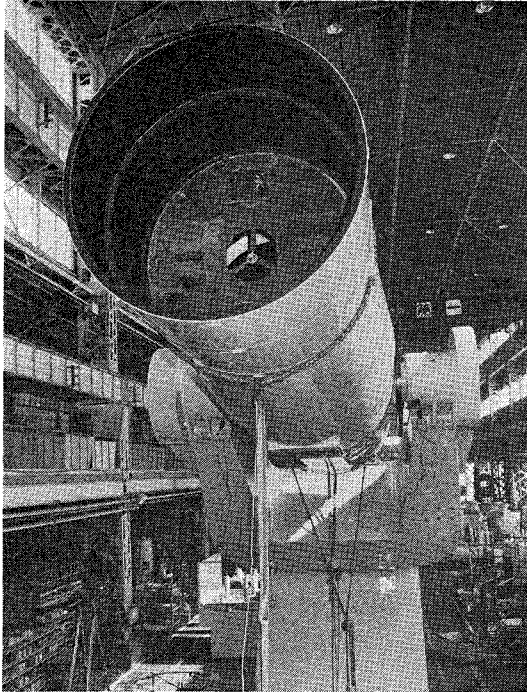


写真 2 鏡筒の機械的中心軸の検査。鏡筒の内部に見える紋板のような板はダミーウェイト。

整し、押し引きのネジで方位角を調整する。

コンクリート・ピヤは約 170 トンで望遠鏡を据付ける台である。南北に 4.2m、東西に 3.0m、高さ 6.1m あって、内心に体積で約 1 割の中空をつくってコンクリートが固化する時の放熱を容易にする。ピヤの下には 10 本のコンクリート・パイル棒が打込まれて、地下 21.5m の岩盤へのびている。ドームの基底部も独自にコンクリート・パイルによって、風やその他の自然あるいは人工的振動が望遠鏡に伝わらないようにする。

## 7. 駆動系

駆動モーターは軸回転の速さによって 3 種類の選択をすることになっていて、それらを Q (Quick), S (Slow), F (Fine) と呼んでいる。しかし、駆動系の状態としては、(1) クラッチによって Q モーターに接続、(2) クランプによってウォーム・ホイールを経て S モーターと F モーターに接続、そして極軸の場合はその上に時計駆動モーターがのった状態、(3) クラッチもクランプも切れて、軸は手で押せば廻る状態の三種類しかない。(1) の状態は望遠鏡のいわば基底状態で、電源を OFF にした時、電源を ON にした時、フリー・スイッチを OFF にした時、Q モーターを選択した時などの状態である。いわば (2) と (3) 以外の状態である。(2) の状態は S あるいは F モーターが選択された時、(3) の状態はフリー・スイッチを ON にした時の調整用の状態である。

駆動系の指向 (Pointing) 精度は  $\pm 1$  分角を考えた。即ち時角と赤緯の絶対値読出しは、それぞれセルフ・シンクロ・レゾルバーを、2 個ずつ付けて、時と分の 10 分割および度と分を与えている。Q 駆動の速さは  $90^\circ/\text{min}$  であるが、目標の近くでは  $1^\circ/\text{min}$  の S 駆動に切換わる。駆動歯車系の精度から見ても、目標の精度で望遠鏡を目的の方向に指し向けることができる筈である。

写真観測の標準的な露出時間は 1 時間と考えられる。その間の天体の高度・方位への追尾は、おおまかには極軸の時計駆動によって行なわれる。時計駆動のモーターの歩度の安定度は  $10^{-6}$  と充分である。次いでそれを伝える駆動歯車系の精度である。半径 900 mm のスパーク歯車は歯と歯の間隔の不等が  $5 \mu\text{m}$  より少し大きい位、それに噛み合って 2 分間で 1 回転するウォーム歯車は歯と歯の間隔の不等が約  $5 \mu\text{m}$  となった。これは時計駆動で追尾をすると 2 分間周期で振幅 1 秒角余の補正駆動を与える必要があることに対応する。補正駆動は 1, 2, 4, 6 $''$ /sec の 4 種類の F 駆動の速さ、あるいは極域では時角だけは S 駆動を選択して行なう。時角と赤緯の両軸の回転角は 1 秒角を 10 分割した値で数値読出しをして両軸の追尾駆動の量を知ることができる。

## 8. その他のこと

ドームの直径は 16m、半球型の旋回する屋根の球心に望遠鏡の不動点即ち赤緯軸と極軸の交点を置く。望遠鏡の不動点から 6m 下にコンクリート・ピヤ面がある。観測床面は不動点から 4m 下に張る。観測床をこれ以上高くすると望遠鏡のフォークの肘が極軸の回転と共に廻って来て、床に当たってしまうからである。

望遠鏡の鏡筒の全長 8.8m は不動点に対して、上部 6.3m 下部 2.5m に分けられて、望遠鏡の駆動と共にそれぞれだいたい半球状の空間を動きまわる。従って観測床の南側の望遠鏡架台のある所を除いた馬蹄形の領域には、主鏡運搬台車・制御室・写真乾板装填暗室・較正暗室・観覧室等を置いてその上をプラットフォーム・ホーム状の作業面とする。このプラットフォーム・ホーム面は不動点より 1.5m 下にあって、対物プリズムの装着作業などに用いる。

さて、写真観測の露出中、観測者は案内望遠鏡の接眼鏡で案内星を監視しながら補正駆動をし続ける。案内望遠鏡の接眼部はドーム中心の不動点を球心とする半径約 2.5m の下半球面を移動する。従って観測者はこのような半球面上に到達できる観測台に乗って、望遠鏡につかず離れずで、望遠鏡を操作することになる。

詳しい操作法や制御系については、後日稿を改めて書くことにしたい。

本文中およびアルバムの大形シュミット望遠鏡関係の写真は日本光学工業株式会社の提供によるものである。