

# 木曾のシュミット望遠鏡〔I〕

## 制御系と観測操作

前 原 英 夫\*

### 1. 序

東京天文台木曾観測所に設置されたシュミット望遠鏡は来たるべき本観測を前に日夜調整・試験観測が行われている。私たちは本紙の紙面をお借りして、この望遠鏡のことを数回にわたってお話ししようと思う。これまでの設計・組立などのいきさつについては天文月報第66巻第10号、第68巻第1号に書かれているので、興味ある人は参照してもらいたい。

シュミット望遠鏡は球面の主鏡とその曲率中心に置かれた補正板とからなる光学系を有し、主焦点で写真撮影を行う。その特徴は光学系の明るいことと視野の広いことである。木曾のシュミット望遠鏡は補正板口径105cm、主鏡口径150cm、焦点距離330cmという光学的要素を持ち、フォーク式赤道儀の架台に長さ8m、重さ15トンの鏡筒が支えられている。総重量は70トンあり、170トンのコンクリート・ピアに乗り、直径16mのドームに納められている。最大14インチ角(約36cm角)という窓ガラスほどもある写真乾板を使い、それを球面に曲げて撮影する。一度に6度×6度の広さの天域が撮影されるわけで、後で比較することを考慮して赤緯-45度までの天球を約1600の標準天域に分けて、それぞれに天域番号を与えている。

この望遠鏡は機能からいえば天体の写真を撮る写真機すなわちシュミットカメラなのである。写真乾板を詰め、フィルターを付け、フォーカスを合わせ、シャッターを開閉するという操作は、本質的には普通のカメラと異なるところはない。もちろん、天体写真用であること、図体が大きいことに起因する相違点がある。まず第1に、微弱な光の天体写真を撮るため長い露出時間が必要で、時には数

時間にわたるようなことがある。観測者は露出中、鏡筒についている案内望遠鏡で監視しながら、望遠鏡が常に正確に天体を追尾するようにガイドを行うわけで、これをミスすると像の流れた「手ぶれ」の写真になる。第二の相違点としては、各個所が大きく重いためモーターを使って電気で動かす部分が多いことである。極軸および赤緯軸を駆動するためにはQ(早回し)、S(粗動)、F(微動)の3種類のモーター、さらに駆動ギヤの遊びをとるためのモーターがあり、極軸の時計駆動モーターがある。また、シャッター、ミラーカバー、フォーカス、フィルターなどはすべてモーターで動かされ、写真乾板を撮影位置に導き露出中動かないように保持するキャリッジもモーターで駆動される。

一般的な話はこれくらいにして、今回は特に制御系と観測の際の操作について述べてみよう。望遠鏡の制御系といってもピンと来ない読者がいるかも知れない。小口径の望遠鏡では光学系とそれを支える機械部分が良ければそれで十分といえる。しかし、木曾のシュミットくらいの大きさになると、このようにモーターなどがたくさん使われ、複雑な機構が多い。望遠鏡各部が有機的に作動し全体として十分に機能を発揮するためには、これを正確にコントロールする必要があるわけで、こういう役目を果たするのが制御系である。望遠鏡を人間にたとえれば、モーターで動く「手・足」に対して制御系は「頭脳・神経系統」にあたる。実際に数えあげてみると、モータ

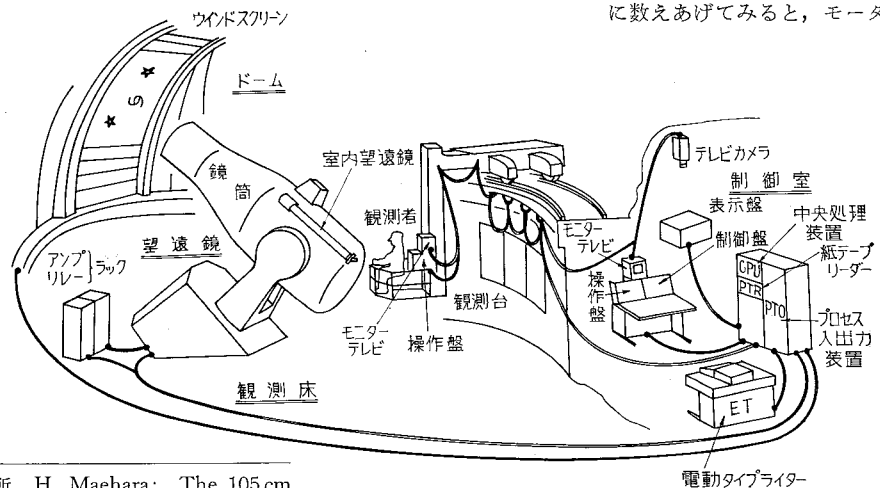


図1 制御系と関連部分の概念図(太い実線のようにケーブルが接続され、信号が伝えられる。)

\* 東京天文台木曾観測所 H. Maehara: The 105cm Schmidt Telescope at the Kiso Station, Tokyo Observatory (I)—The Control System and the Observational Operations.

ー 24 個、電磁クラッチ 18 個、マイクロスイッチ約 70 個がこの望遠鏡に使われている。そして、それらと制御系を結ぶ電気ケーブルやコネクタなどが這いまわり、淡いグレーの滑らかな外観とは対照的に望遠鏡の内側は黒くゴツゴツした構造になっている。

この制御系の特徴として挙げられることは、ソフトウェアを持った小型電子計算機（ミニコンピューター、略してミニコンといわれる）がその「頭脳」として配置されていることである。ミニコンが天文学の分野で採用され、データの収録、機器の制御に活躍するようになってからまだ日が浅いけれど、このところその「よさ」が認められてきて、ミニコンの利用は急激に増加している。東京天文台では現在 10 台ほど稼働していてさらに増える傾向にあり、また、世界で建造されている大口径望遠鏡には必ずといってよいほどミニコンかそれに近いものが採用されている。木曾のシュミットにおいてそれがどのように機能しているかは以下で具体的にお話してゆくが、その基本は「観測者の行う操作を補助する」ということである。安全である限り観測者の行う操作が優先され、ミニコンによる制御を即座に変更することも可能である。場合によっては、ミニコンとその周辺機器を切り離して観測を行うことも、不便さをいとわなければ可能になっている。図 1 に制御系と関連部分の概念図を示しておくが、以下の説明のとき参照していただきたい。

## 2. 各部の構成——ハードウェア

制御系の主要な部分は空気調整を施した制御室に納められている。図 2 がその写真であるが、左側は壁でなく大きなガラスで観測床と仕切られていて、制御室内から望遠鏡や観測床を見渡せるようになっている。制御系の各部と望遠鏡・ドームとの間は電気ケーブルで接続され、指令や位置の情報はすべて電気信号として伝えられる。人間でいえばケーブルは「神経細胞」にあたる。ドームは全体が円形のレールに乗って回転するのでケーブルで直接つなぐわけにいかず、電気信号の受け渡しは地下鉄

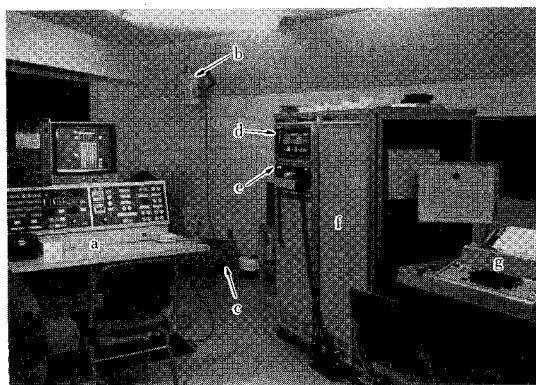


図 2 制御室。(a) 制御卓 (b) テレビカメラ (c) 表示盤 (d) CPU (e) PTR (f) PIO (g) ET

わが国唯一の天体観測雑誌

# 天文ガイド

定価240円(〒45円) 77-3月号・2月5日発売

### ● 3月号のおもな内容

- ★昨年秋に新彗星が一つ見つかりました。ひょっとすると、昨年のウエスト彗星のように、大彗星になるかも。
- ★春は淡い光の流星群があります。こういう暗い流星の多い流星群は双眼鏡で観測します。双眼鏡によって流星観測はまだまだ未開の分野です。殿村泰弘さんの解説。
- ★東京理科大学のOBと学生の天文班の方々が、昨年10月23日のオーストラリア日食の観測に出かけ協同観測で成果をあげました。読者の研究の発表です。
- ★天王星が7等星をかくします。観測できるかどうか。
- ★そのほか、隕石①、太陽の活動②、メシエ探訪ほか。

## ふじい旭の 新星座絵図

本書はイラストレーターふじい氏が精魂をこめて描きあげた、まったく新しい星座の絵で、全ページ2色刷り、88星座を全部紹介しています。軽妙なエッセイを配し、いままでにないユニークな天文書です。

●ふじい旭著/A5変型・170ページ・1,200円発売中

## 天体望遠鏡製作 ハンドブック

5cm級の小型望遠鏡から20cm級の大型望遠鏡まで、木製部品の作り方から鉄工所への依頼法、図面のひき方までいろいろな工作法を、写真や図をつけて具体的に説明しました。巻末には観測小屋の自作法も加えました。

●川村幹夫著/B6判・280ページ・1,500円好評発売中

誠文堂新光社 東京都千代田区神田錦町1-5  
振替東京7-6294 電話03/2921211

電車と似た方式で行っている。すなわち、レールに沿って固定された4本のダクト中に計18本の電線が通っていて、それぞれの電線をシュー（集電装置）で摺りながら電気信号を伝える。また、望遠鏡の可動部分特に極軸・赤緯軸のところは、軸を中空にして屈曲性のよいケーブルを通してある。極軸の中には、18本のケーブルに総数約500本の電線が通されている。

制御系の別の部分は観測台に取り付けられている（図3）。観測台というのは、観測者が乗り込んで案内望遠鏡の接眼部に到達しガイドなどの操作を行なうためのもので、望遠鏡を囲む馬蹄形の空間を動き回れるようになっている。これには、観測の際使用する操作盤・ハンドセット・モニターテレビが取り付けられていて、制御室とはカーテン吊りにしたケーブルで電気信号の受け渡しを行う。観測の際は屋外と同じ条件になるため、これらの部分は $-20^{\circ}\text{C}$ まで達する気温あるいは100%に近い湿度のもとでも正確に作動するように作られている。

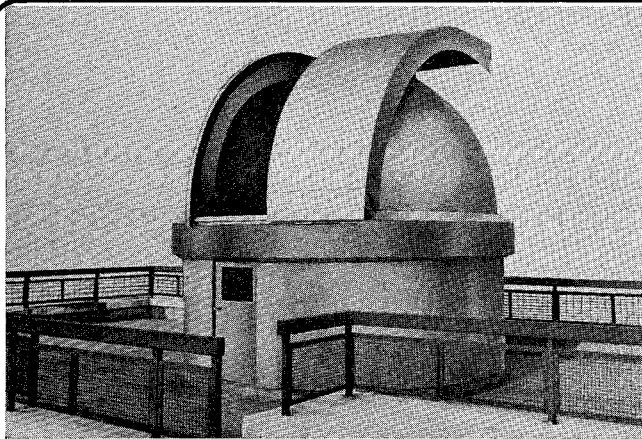
各部分について少し触れてみよう。CPU（中央処理装置）は1語16ビットのミニコンピューターで、1万2千語の記憶容量を備えている。CPUは制御系で「頭脳」の働きをしており、与えられたプログラムに従って、観測者の指命を受け、望遠鏡・ドームの状態を監視し、必要な演算を行い、駆動指令を発生し、データを出力する。

個々の内容については観測操作の項でお話する。CPUの周辺装置としてはPTR（紙テープリーダー）とET（電動タイプライター）とがある。プログラムは紙テープで保存されているが、PTRはそれをCPUに入力するために用い、またETは観測記録などのデータを印刷し、あるいは紙テープに穿孔するために用いる。

望遠鏡・ドームと制御系との電気的接続はPIO（プロ



図3 観測台  
(a) 案内望遠鏡の接眼部  
(b) モニターテレビ  
(c) 操作盤  
(d) ハンドセット



#### 営業品目

- ★天体望遠鏡ならびに双眼鏡
- ★天体写真撮影用品及び部品
- ★望遠鏡各種アクセサリ
- ★観測室ドームの設計・施工



←LN-10E型  
25cm反射赤道儀

★総合カタログ  
ご希望の方は切手  
300円同封お  
申込みください

**ASTRO 光学工業株式会社**



〒170 東京都豊島区池袋本町2-38-15 ☎03(985)1321

セス入出力装置)によって行われている。この装置はいわば「脊椎」の役割をしている。望遠鏡のマイクロスイッチからステータス信号やリミット信号を受け、エンコーダーなどの検出器から信号を受けて、それを表示盤やCPUに送る。また、観測者あるいはCPUからの指令を受けると、論理回路により条件判定を行い、望遠鏡・ドームへ駆動信号を送る。さらに、PIOにはクロックユニットも内蔵されていて、 $10^{-7}$ の精度の水晶発振器から恒星時および標準時が作り出される。このPIOが故障を起すと、望遠鏡は「ギックリ腰」になってしまい、満足に動けなくなる。

制御卓(図4)にはモニターテレビ、操作盤、制御盤、ハンドセットが組み込まれている。操作盤は観測台にあるものと同一のもので、望遠鏡・ドームの操作ボタンがあるが、その他に天城番号・露出時間設定用デジスイッチ、CPUへの割込ボタンがあり、観測操作の際用いられる。制御盤は電源ボタン、時刻設定用デジスイッチ、各種リミット・アラームの表示などがあり、主に観測準備や異常発生時に使用する盤である。ハンドセットは操作盤または鏡筒からコネクターで接続され、観測者は露出中これを手に持って望遠鏡のガイドを行う。極軸・赤緯軸のS、Fの切替とオン・オフ、シャッター開閉のボタンがある。ABS樹脂製で、軽くて冬でも冷たく感じないし、誤って床に落しても壊れにくい。

表示盤は制御室の隅に置かれていて、各種のデータを表示するためのものである。この盤面をテレビカメラで撮り、制御卓および観測台のモニターテレビに映し出す。観測者はこれらのテレビを見て望遠鏡・ドームの状態を知る。表示盤の中央部には望遠鏡の状態すなわちシャッター・ミラーカバーの開閉、キャリッジ・フィルター・プリズムの挿脱、駆動モーターの種別(Q・S・F)などが図案化された記号や文字で表示されている。また、周辺部には位置の情報がデジタル値で表示されてい



図4 制御卓。(a) モニターテレビ (b) 制御盤 (c) 操作盤 左横のガラス窓から望遠鏡や観測床が見渡せる。

る。読み出しの単位とともに列挙してみると、赤経(0.1分)、赤緯(1'), フォーカス(0.01mm)、ドーム位置(1°)、ウインドスクリーン位置(1°)。これらはCPUからのプリセット値と検出器からの現在値がペアになって表示されている。さらに、時角(0.1分)、露出時間(0.1分)、地方恒星時(0.1分)、日本標準時(1秒)、写真乾板番号が表示されており、観測中必要な情報がすべて網羅されている。

これで各部について概略の説明を行ったが、ではこのハードウェアが実際の観測においてどのように機能しているか以下でお話ししよう。

### 3. 観測操作——ソフトウェア

まず、プログラムの構成から見てみよう。写真撮影のための観測プログラムはアセンブラー言語で書かれ、全体で1万語を超えている。図5はそのブロック図である。このプログラムは数値計算のものとは多少異なっていて、観測中は常にラン状態にしておき、個々の仕事(「ジョブ」と呼ばれる)へは割込によってジャンプしてゆくようになっていいる。主プログラムに相当するのはジョブコントロールで、割込は0から3までの4レベルある。レベル0はCPUの内部状態により発生するが、レベル1は非常停止ボタン、レベル2は他の割込ボタンおよび0.01秒と1秒のタイムベースパルスにより発生する。レベル3はET、PTRの周辺装置から発生する。図5に示すように割込ごとにその処理プログラムが設けられている。

プログラムをランさせるためには0番地からスタートさせる。すると、開始処理が行われ、パラメーターを初期値にセットしてジョブコントロールへジャンプしてゆく。ジョブコントロールではジョブの登録テーブルをサーチし割込がかかってくるのを待っている。観測が始まり割込が発生すると、その割込処理へジャンプし、条件

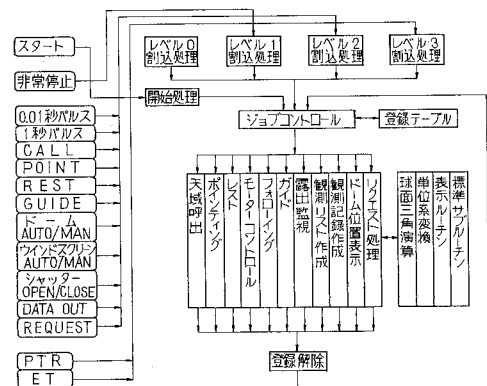


図5 観測プログラムのブロック図

矢印はプログラムの流れの方向を示している。

判定を行い実行すべきジョブを登録して、ジョブコントロールに戻ってくる。そして、登録されたジョブへジャンプし、必要な演算・制御を行い、データを出力するなどする。そのジョブでの処理が終了すると、登録を解除してジョブコントロールへ戻ってくる。このようにしてCPUは次々と処理を行ってゆくのである。各ジョブを並列に並べたこのプログラムの利点は、露出監視などの長時間にわたる処理の途中で別の処理が自由にはさまみ込めることである。

各ジョブを写真撮影の際の観測操作の手順に従って述べてみよう。まず制御室での観測準備として、制御盤上の電源ボタンをオンし、プログラムテープをPTRから読み込ませる。実際は前日のプログラムがそのまま残っていて、テープの読込は不必要なことが多い。つぎにETから観測データを入力する。日付、観測者名、対物プリズムの有無は必ず入力してやらねばならない。さらに標準でないフィルター、標準でない撮影天域の場合は、それらの要素を入力してやる。CPUはこれらに基いて、歳差の補正、各時刻における位置（方位角・天頂距離角）、対物プリズム装着時はそのオフセット位置などを計算し、ETにより観測リストとして出力（印刷）する。

観測者はこのリストを手にして、冬ならば分厚い防寒服に身を固めて観測床に出てゆく。観測台のモニターテレビで望遠鏡の状態が正常であることを確認してから真北水平近くの「レスト位置」に向け、鏡筒先端のフードキャップを取り外す。観測床の照明を消してドームスリットを開ける。木曾の暗い夜空が現われる。観測者は暗室に入り写真乾板をテスト曲げした上でホルダー（撮枠）に詰める。このホルダーは写真乾板を球面に曲げる機構があるため15kgの重さがある、ぶつけたり落としたりしないように気をつけながら鏡筒カメラ部のキャリッジにセットする。そして適当なフィルターを選択し、観測者は暗闇の中で気持を引き締めて観測台に乗り込む。

まず撮影すべき天域をリストにより確認する。天域番号をセットしCALLボタンを押す。CPUはその天域の位置（赤経・赤緯・方位角・天頂距離角）を表示し、それが地平線下にある場合はアラーム信号を出す。呼び出された目標天域に望遠鏡を向けるにはPOINTボタンを押す。するとCPUはその天域が大気差で浮いて見える量を補正し、対物プリズム装着時はその「やぶにらみ」量を補正する。さらに挿入されているフィルターからそのフォーカス値を求め、極軸・赤緯軸・フォーカスのモーターを駆動しプリセット位置へ持ってゆく。ドーム・ウインドスクリーンがAUTOならば、これらも同時にプリセット位置へと駆動する。特に、望遠鏡は水平近くを通らずに最短時間でプリセット位置に到達するようにQ、Sモーターの制御を行っている。

望遠鏡・ドームがこのようにして目的の位置に向くと、観測者は観測台を移動して案内望遠鏡の接眼部に到達する。案内星を選択し十字線上に合わせる。露出時間を設定し、ミラーカバーを開ける。そしてハンドセットを手にして案内星をガイドしながらシャッターをOPENする。露出開始である。CPUは露出開始時刻、望遠鏡の位置を記憶し、露出の監視を行う。また、追尾による望遠鏡位置の移動を知り、ドーム・ウインドスクリーンをそれに追従させてゆく。手許のカセットラジオから流れる音楽がガイドの単調さを救ってくれる。

ハンドセットにあるGUIDEボタンを押すと、CPUによるガイド操作の監視が行われる。極軸のウォーム歯車は2分間で1回転するのでその時間間隔で周期的な送り誤差が出るかも知れないし、またガタなどの非周期的な誤差が表われるかも知れない。CPUは観測者のガイド量を0.1秒角単位で読み取り記録する。これまでに、望遠鏡のいろいろな姿勢においてこの記録が集められ解析が進められているが、これについては次の機会に詳しくお話する。さらに、この結果をもとにしてCPUによるガイドを行うことも考えている。

露出の経過時間が設定時間に等しくなるとCPUはシャッターをCLOSEする。これで露出終了である。観測者はガイドをやめミラーカバーを閉めRESTボタンを

The image shows a printed observation log sheet with a grid of fields. The text is in Japanese and includes various astronomical parameters and observation details. The fields are arranged in a structured format, likely for data entry during an observation session.

NO.	DATE	TIME	RA	DEC	HAZ	ALT	AZ	TYPE	STATUS
1	1978-07-01	22:54:40	101:01:00	1:00:00	1	22	54	40	1
2	1978-07-01	22:54:40	101:01:00	1:00:00	1	22	54	40	1
3	1978-07-01	22:54:40	101:01:00	1:00:00	1	22	54	40	1
4	1978-07-01	22:54:40	101:01:00	1:00:00	1	22	54	40	1
5	1978-07-01	22:54:40	101:01:00	1:00:00	1	22	54	40	1
6	1978-07-01	22:54:40	101:01:00	1:00:00	1	22	54	40	1
7	1978-07-01	22:54:40	101:01:00	1:00:00	1	22	54	40	1
8	1978-07-01	22:54:40	101:01:00	1:00:00	1	22	54	40	1
9	1978-07-01	22:54:40	101:01:00	1:00:00	1	22	54	40	1
10	1978-07-01	22:54:40	101:01:00	1:00:00	1	22	54	40	1

図6 観測記録フォーマット

押す。CPU は望遠鏡をレスト位置に移動し、フォーカスをキャリッジ挿脱位置に移動する。また CPU は記憶している観測のデータを出力し、図 6 に示すような観測記録を ET により印刷する。観測者はホルダーを鏡筒カメラ部から取り外し、暗室で写真乾板を取り出す。新しい写真乾板を詰めて、つぎの観測にかかる。撮影済の写真乾板には校正用 ウェッジを焼き込んで現像処理を行う。

以上が木曾のシュミット望遠鏡で写真撮影を行う場合の標準的な操作とミニコンによる制御の内容である。小さなミニコンが 70 トンの望遠鏡、100 トンを超すドームを意のままに動かす有様は実に壮観なものである。また、歳差の補正、赤道座標と地平座標の変換、対物プリズムによるオフセット量の計算には球面三角法の演算を必要とするが、この複雑な演算を 1 秒もかからず行う。いかに熟練した観測者といえども、迅速さ・正確さという点ではミニコンに一步を譲る他ない。

#### 4. 結 び

これまでのところで木曾の 105 cm シュミット望遠鏡の制御系と観測操作の概略をお話したが、終りにこの制御系の特徴を従来の望遠鏡のものと比較しながらまとめてみよう。

まずはじめに、最近のエレクトロニクス技術によって作り出された信頼性の高い部品を採用していることである。アンプや論理回路などには IC、トランジスタといった固体素子を用い、寿命の長い押ボタン、マイクロスイッチ、パワーリレーを採用している。また、可動部分を結ぶケーブルには屈曲性のよいものを用いている。

つぎに、制御系の主な部分を一定の温度・湿度の制御室内に納めたことが挙げられる。その理由は、CPU などの機器を屋外の条件に近い観測床に置くと正確に作動しない危険性が大きいからである。しかし、さらに一步進めて、観測操作自体もできるだけ制御室内で行えるように考えている。つまり、観測台に置いた操作盤、ハンドセット、モニターテレビをすべて制御室内の卓上にも備えている。将来、ガイドのための星野をテレビなどで映し出すか、あるいはミニコンにガイド星の動きを知る「目」を持たせれば、写真乾板をカメラ部に挿脱すること以外の観測操作は制御室内で行うことが可能になるであろう。

つぎに挙げられることは、望遠鏡・ドームの位置表示をすべてデジタル値としたことである。一つにはミニコンが読み取れるようにするためであるが、デジタル値の

ほうがアナログ値より正確に精度よく読み取れるからである。例えば、極軸・赤緯軸についている目盛環では 1 分角まで正確に読み取ることはむずかしい。特に、望遠鏡の移動量を 0.1 秒角で読み取ることは、高分解能のエンコーダーを用いたデジタル方式の容易さに比較して、アナログ方式では大きな困難が伴う。望遠鏡やフォーカスなどの位置が高精度で決められることは、均質でかつ再現性のよい写真が撮影できることにつながり、後での比較測定などが容易になるという利点がある。

ソフトウェアを有するミニコンコンピューターを導入した真のメリットは何か。迅速さ、正確さに優れていることは前にも触れたが、この内容に相当する論理をハードウェアで作り上げようとすると莫大な数の素子が必要になり、ずっと大がかりで信頼性の乏しいものになってしまう。また、観測操作のうちで一定の手順で行われる部分をミニコンに代行させることにより、観測者の疲労を少くし安全性を向上する効果がある。さらに、観測者の判断で CPU の制御や処理の内容を変更できるので、観測の自由度は増しこそすれ制限されるようなことはない。観測記録を自動的に出力することも、暗闇で懐中電燈を頼りにメモを取ることを思えば、記録の信頼性が向上していることもいうまでもない。

さらにミニコンを導入した大きな利点として挙げられることは、システムとしての融通性が増したことである。これまでの調整・試験観測期間中に、設計段階での予見と実際がくい違ってきた点が生じている。その際、ある場合はハードウェアに手を加える必要のあることもあったが、ソフトウェアの書き換えによって適合するようになれたこともある。また、予め制御対象の慣性や時定数などが十分な精度で知られず、プログラム中の定数を変化させながら調整を行ったケースもある。今回説明したのは主に直接写真撮影であるが、対物プリズムによる分光写真撮影では CPU を用いた幅つけを考えており、さらに、カセグレン焦点の観測にはそれに適合したソフトウェアを組むことを考えている。このように、ソフトウェアを改良してゆくことによって、システムを最適化するのが容易に行えるようになってきている。

これまでお話ししてきた制御系について、その設計・製作はすでにシュミット望遠鏡本体の設計・製作と併行して進められたもので、引き続きその調整・テストがハードウェアおよびソフトウェアの両面から行われてきた。本観測に入るときまでには更に改良を施し、より質の高い観測を有効に行えるようにしてゆきたいと私たちは思っている。