

40 cm シュミットのオート・ガイダー

大 谷 浩*

ロボットにまかせたい

望遠鏡ではじめて天体観測をした人は、ガリレオ・ガリレイであるとは万人の知るところであるが、天体望遠鏡と非常に密接な関係のある赤道儀の発明者は誰かと問われても、われわれ天文学者もなじみがない。これはクリストファー・シャイネル (Christopher Scheiner) という人だそうだ。この人は、自分が太陽黒点の第一発見者であると主張したが、物的証拠がなくて認められず涙をのんだという、ガリレイとまさに同時代に生きた天文学者である。望遠鏡の発明と同時に、天体を正確に追尾するために赤道儀が考案されたのは、より良質のデータを得るために他ならない。

わたくしたちが使っている大字陀観測所のシュミット望遠鏡（口径 40 cm, 口径比 3.0; 本誌 1976 年 9 月号）も、赤道儀式架台である。したがって、目的の星野に望遠鏡を向けたあとは、時計仕掛けによる極軸の回転によって望遠鏡は星野の日周運動を追尾してくれる。しかし、極軸設定の誤差、大気差の高度によるちがい、機械製作の誤差などがあるから、追尾には誤差が生じる。したがって案内望遠鏡で星を監視し、たえず追尾の誤差修正をする作業、すなわちガイドが必要である。

このシュミット望遠鏡では、赤外写真や狭波長帯写真を撮るために長時間露出をすることが多いが、長時間にわたって正確なガイドをすることはなかなか困難なことである。また、対物プリズムを用いて撮る星のスペクトル写真では、スペクトル分散の方向にガイド・エラーを生じるとデータの質をいちじるしく損ってしまう。

ガイドのような単調で且つ正確さを要する仕事はロボットが得意である。そこで、われわれより上手なガイドをしてくれるロボットをつくろうということになった。以下は、このロボット、すなわちオート・ガイダーの紹介である。

目玉はうごく

このロボットの眼は、「可偏光電子増倍管」と呼ばれる。ちょっと変わった光電（子増倍）管である（図 1）。光が光電陰極面に当たると光電子が発生する点では通常のものと変わらない。ところが、この光電管には電子レンズが組込まれていて、光電陰極面上の光学像と同じ形

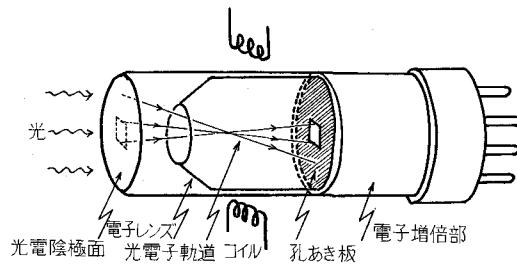


図 1 可偏光電子増倍管の構造。光電陰極面上の破線で示した四辺形内に入射した光のみが高出力電気信号に変換される。コイルを用いて外部から磁場をかけると光電子の軌道がずれて、四辺形の「視野」の位置が移動する。

の電子像を内部で結像するようになっている。しかも、この像面にあたる位置には、小孔をあけた仕切板が立ててあって、この小孔を通過する電子だけが後方の電子増倍部に導かれて出力電流を発生する。つまり、光電陰極の全面は“見えず”，仕切板の小孔に対応する部分だけが“見える”光電管である。

なぜこのようなものがつくられているのだろうか。この光電管の電子レンズ部の外側においてコイルに電流を流すと、磁場が生じ、電子レンズ中を通過する電子の軌道がずれる。その結果、仕切板上に結ぶ電子像もその方向にずれる。つまり、“視野”が移動したことにはかならない。適当な配置のコイルに適当な電流を流せば、光電陰極面内の任意の場所を“見る”ことができる、目玉のうごく光電管である。

よそ見をして測る

うごく目玉で星を見逃がすことなく追尾するのかといふと、そうではなく逆である。キヨロキヨロとよそ見をして追尾誤差を測定するのである。

いま“視野”をそのサイズと同じ幅だけ上下に走査させてみよう。最初、視野内にあった星は、視野から消えたり、またあらわれたり、見えかくれをする。星像が走査の原点からはずれた場合には、星像が位置する方向へ視野を走査し原点に退ってくるあいだに星が見えている時間は、その反対側へ同様の走査をするあいだに星が見えている時間よりも長い。したがって、どちらの方向への走査でも、星がみえている時間が等しくなるように望遠鏡の姿勢を修正すれば、ガイドができる。時

* 京大・理 Hiroshi Ohtani: The Autoguider for the 40 cm-Schmidt Telescope

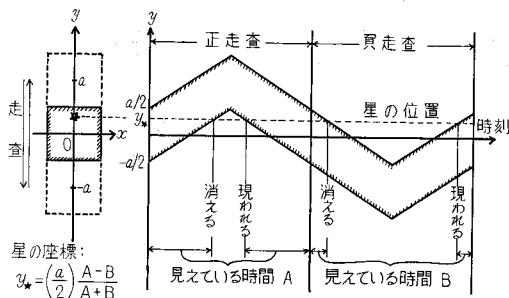


図 2 星像位置の測定原理。四辺形の「視野」を、その一辺の長さと同じ振幅で、 y 軸に沿って走査（左側の図）すると、星像 \star は、「見えかくれ」する。走査スピードが一定の場合には、「視野」のはんいの時間変化は右側に描いたグラフであらわされる。これから、星の y 座標 y_\star は、図に書かれた式で求められることがわかる。

間のかわりに、それぞれの走査のあいだに出る光電管の出力総量をくらべてもよい。

図 2 には、 y 軸に沿った一定スピードの走査の場合に、星の見えかくれの様子をグラフであらわした。星像の座標値は、図に書かれた式であらわされることは、簡単な幾何学でおわかりいただけることと思う。

ガイダーいろいろ

星の自動追尾の方法は従来からいろいろ工夫されている。望遠鏡の焦点面に半円形の仕切板をおき、これを回転させると星がみえかくれするが、星像が回転中心にあるときには、星はいつも（半分だけ）見えている。この原理にもとづくガイダーの発展として、宇宙飛翔体の姿勢制御のために開発されたのが、ここに紹介した方式である。

一方、四角錐プリズムの頂点に星像をむすばせて星の光を四方に分割し、その相対する方向への光量が等しくなるように望遠鏡の姿勢を修正する方法は、原理的にもっともわかりやすい。しかし、この方式では、装置がかさ高いものになる欠点がある。この原理によるガイドをコンパクトな装置で実現するものが最近開発された。それは、四辺形の固体光電子センサー 4 個を「田」の字型に組合せたものを、電子レンズの結像面に組込んだ、星像追尾用光電管である。「田」の字の交点に星の電子像を結ばせて、互に対角に位置する二個の素子からの出力を等しくなるようガイドするわけである。

これらは、いわゆる専門的なガイダーであるが、もっと簡便なアマチュア用のガイダーが、米国では市販されているようである。

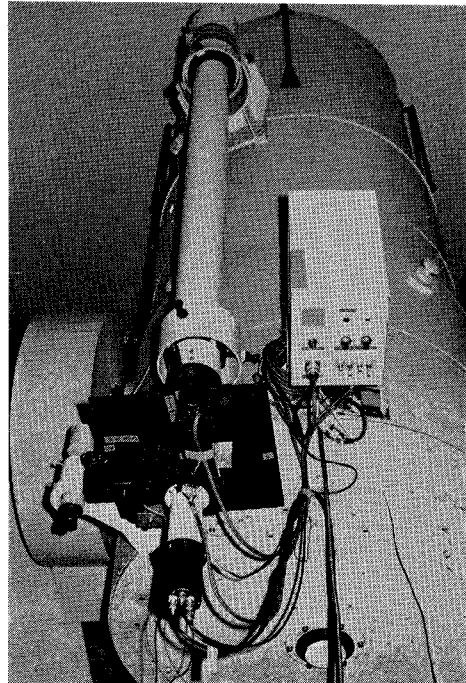


写真 1 オート・ガイダーの受光部。案内望遠鏡の焦点部に取付けられている。四角く黒い部分は、ダブルスライドとアイピースなどの光学系。その後方（画面下方）の白い筒の中に可偏光光電子増倍管とコイルが入っている。案内望遠鏡右側の白い箱はスウェーブ・ゼネレーターである。

マイコンでガイド

実際につくられたガイダーを写真で見ていただきよう。受光部は口径 10 cm、焦点距離 2 m の案内望遠鏡にとりつけられている（写真 1）。光電子増倍管とコイルは短かい白い筒の中におさめられている。右上に見える白い箱は、コイルに流す振動電流を発生するスウェーブ・ゼネレーターである。

走査は、東南西北の順序で 15ないし 60 ヘルツで繰り返される。走査振幅は、図 2 に示した例よりもさらにもう一辺の長さ分だけひろげである。このひろげられた区間では、背景の空の明かるさの測定をしている。

光電子増倍管がキャッチした光子によるパルス出力とスウェーブ・ゼネレーターが発生する走査区間の識別信号は、約 10 m のケーブルでパルス・カウンターに送られる。このカウンターは、走査区間の種別ごとにパルスを計数・積算してゆく。

計数の開始・終了・計数値のよみとり、追尾誤差の算出、そして望遠鏡の姿勢修正用モーターの制御などをおこなうガイダーの頭脳には、マイクロ・コンピューター

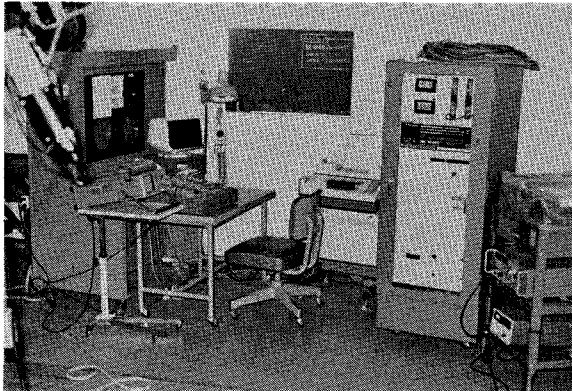


写真2 オート・ガイダーの制御部。中央右のラックがマイクロ・コンピューター MP-88。その左は観測記録出力などをするタイプライター。モニター・テレビの手前机上に置かれているスイッチ・パネルからガイダーは操作される。

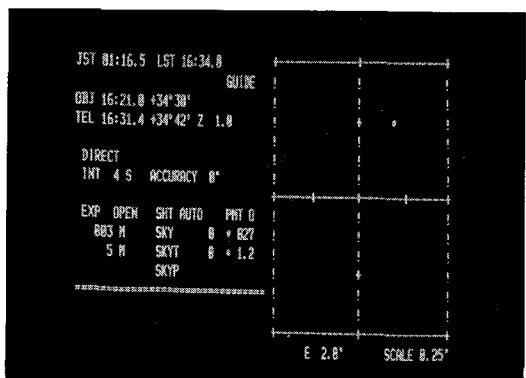


写真3 モニター・テレビの画面。左半分には時刻、天域その他種々の観測バラメータと、観測者へのメッセージが表示される。画面右半分は xy -平面になっていて、ガイド中の刻々の、案内星の位置が*印で表示される。*印が原点上にあるとき、ガイド・エラーなしである。



写真4 オート・ガイドとノー・ガイドの星像比較。画面には、同じ星野が2回、上下にずらして撮影されている。上の像はガイドなしによるもので、像が少し流れている。下の像がオート・ガイドによるものである。露出はどちらも15分間。

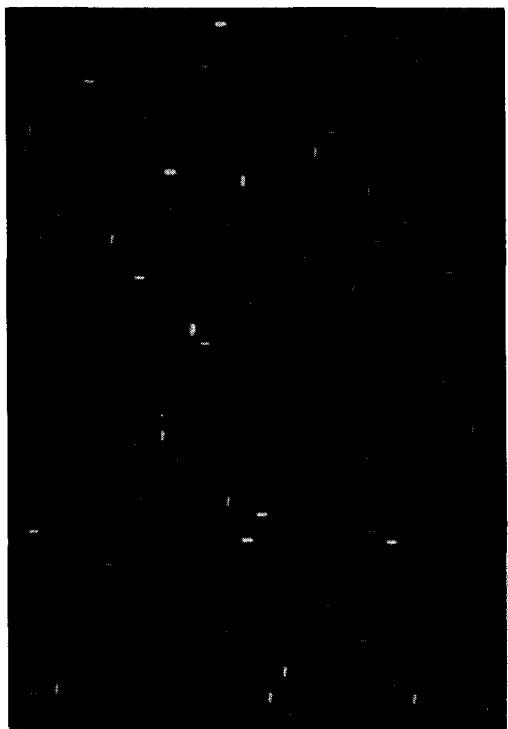


写真5 スペクトルに幅づけをするガイド。オート・ガイダーによって星像を直線状に“ぶれ”させた写真。互に垂直な二つの方向へ“ぶれ”させた露出を一枚の乾板に撮影してある。この“ぶれ”的方向を、スペクトルの分散方向にとれば、幅づけされたスペクトルが撮れる。

(写真2)が使われている。このマイコンは、ガイドを実行するかたわら、露出の管理もおこなう。すなわち、露出時間または背景光量が予定値に達した場合、あるいは雲の飛来等によって正確なガイドが不可能になった場合には、主望遠鏡のカメラのシャッターを閉じて、ブザーを鳴らし観測者に報せる。また、露出の前に目的の星野へ望遠鏡を向ける仕事、露出終了後に観測記録を作成する仕事にも、このマイコンが使われている。

また、モニター・テレビがあり、画面(写真3)の左半分は観測のいろいろなパラメーターが表示される。右半分は、 xy -平面になっていて、刻々の案内星の位置が表示される。星印が原点にあればガイド・エラーなし、原点から逃げるとエラー発生というわけである。

テレビゲーム観戦

よいガイドとは、カメラぶれのない写真を撮ることである(写真4)。しかし、このガイダーデ、故意にカメラぶれを生じさせることがある。露出中に星像を光電陰極面上を往々たり戻したりさせるプログラムをコンピューターに実行させるわけである。というのは、このぶれの方向を対物プリズムスペクトルの分散方向と垂直にとれば、幅狭めされたスペクトルが得られるからである(写真5)。

これまでの実験で、このガイダーデが發揮しうる最高の能力は、追尾精度 $\pm 0.2''$ ほどであることがわかった。設計上の目標は、10等星を案内星に用いて $0.3''$ の精度を実現することである。しかし、10等星ともなると、口径10cmの案内望遠鏡で集められる光量は少なく、光が時間的に一様に入射してこない。この時間的なムラを平均化して、 $0.3''$ の精度で星像位置の測定をするには約2分間かかる。ところが、わたくしたちの望遠鏡の機械系は、2分間ガイドをしないでおくと、やや目につくガイドエラーを生じる。したがって、現在は7等星ぐらいまでしか案内星に使っていない。しかし、機械系の微調整をおこなえば、追尾誤差をかなり取除ける見込みがあるので、所期の目標が達せられる日も遠くない。

ともあれ、この装置がうごきだしてからいうものは、望遠鏡の機械系とガイダーデの電子系とのオニゴッコのテレビゲームとして観戦していれば、やがて出来ばえのよい写真が得られるという、まことに楽しいことになった。製作には、筆者の他に、市川、佐々木、斎藤および辻村があたり、仲野君には試験段階でお手伝いをしていただいた。また、計算機システムに関して、われわれの無理な注文にも応じて下さった国際データ機器 KK および、同社の池田・広田両氏の製作にあたっての御苦労に感謝する次第である。

わが国唯一の天体観測雑誌 天文ガイド

特別定価380円 '80-12月号・11月5日発売!

●12月号のおもな内容

- ★この夏のペルセウス座流星群のすばらしい流星写真をグラビア8ページ増で紹介。
- ★白河天体観測所がまとめた1981年の天文現象予報。
- ★今年のペルセイ群の出現状況は? 観測者の全国的な分布は?などについて、藪さんと杉本さんが報告します。
- ★アメリカの天文雑誌に広告が出ている天文ジャンク屋を見てきた藤塚さんの詳しい報告。大は光電測光装置から、小はレンズに到るまで、聞きしにまさる盛況。
- ★ほかに、ジャンタル・マンタルをたずねて、H II領域めぐり、私の愛機など、興味いっぱいの記事を満載して、増ページ増大号。

新刊書

天文年鑑 1981年版

毎月の空のほか、惑星、小惑星、流星、彗星、新星、変光星、日食、月食などのこまかนาデータを掲載。その他天体観測に最低限必要なデータなどもりだくさんな内容。

■天文年鑑編集委員会編 / 予定価480円・11月下旬刊

四季の天体観測

—肉眼・双眼鏡・小望遠鏡による—

刊行以来好評であった『新版・四季の天体観測』を全面的に書きかえ、新しい写真、新しい数値であらたに発売。

■中野繁著 / 予定価2000円・11月中旬刊

惑星ガイドブック

惑星観測のための入門書 ■佐藤健／平林勇／大沢俊彦／水元伸二／堀口令一／荒川毅 共著・予定価2200円・11月下旬刊

誠文堂新光社

東京都千代田区神田錦町1-5
振替東京6294 電話03(292)1211