

105 cm シュミットシステムの写真乾板測定装置について

石 田 薫 一*

1. 序

写真乾板は一見して多量の情報を見わたせる display 装置であるが、同時に密度の高い保存性のよい情報記憶装置でもある。105 cm シュミット望遠鏡で撮影した大型写真乾板に保存されている情報量は優に 10 巻の磁気テープを占める。乾板から、それぞれの研究目的に必要な充分な情報を（多くの場合数値として）簡潔な形で抽出する過程で用いられるのが乾板測定装置である。ここでいう測定とは、或る種の天体を検出して位置を測定する（プリンク）；星像の大きさを測って明るさを求める（アイリス）；対物プリズムによるスペクトル写真及び星雲状天体の写真濃度の場所による変化の様相をしらべる（マイクロ及びアイソ）ことなどである。当初、測定装置の計画段階で、上記の機能を分担してもつ単能測定器械類を考案するか、高速自動の万能測定装置を開発するかという選択をすることになった。当然のことながら、われわれは或る程度自動化した複数の古典的単能測定器械類を製作して、それらを使用しながら高速自動万能測定装置の構想を固めることにした。最後に述べるアイソホトメーターは、その方向への足がかりである。

ここでは、現有の測定器械類について述べるのであるが、その前に 105 cm シュミットによる観測方法について若干述べておきたい。シュミット光学系では、広い視野にわたって非対称収差がない。従って目的の天体を厳密に写野中心に置くことを要しない。一方、写野の広いことから考えると全天写真掃天の可能性を考慮しておきたい。木曾観測所では、天球を 5° 間隔の天域に区分して撮影することにした。使用している乾板の大きさ 14 インチ角は、天球上で 6° 角の写野に相当するので、天域の周辺部の重複は充分である。これは、それぞれの研究目的で撮影される写真をまとめて、何年か後には全天の記録写真をもちたいということである。例えば、NGC 188 を撮影したい人は天域 A0002（中心座標は 1950 年分点で $00^h00.0^m, +85^\circ00'$ ）で、M31 は天域 A0325（ $00^h48.0^m, +40^\circ00'$ ）で撮影するという約束である。

105 cm シュミットで撮影されるすべての乾板には、木曾の K を頭に置いた撮影順の通し番号が付く。観測所には、K で並べてあるカードと、天域番号 A で並べ

てあるカードがある。例えば、銀河北極の Coma cluster の乾板は、天域番号順 A のカードケースの中の、A0494 のカードを繰ると、K758, 752, 730, …… など 10 数枚の乾板が撮られていることがわかる。それらの中には、IIIaJ の乾板に GG 455 のフィルターをかけて A 氏が撮影したもの、 2° の対物プリズムで B 氏が撮影したもの、あるいは焦点テストのために C 氏が撮影したものなどがある。すべての乾板は、撮影者の研究目的に使用されるばかりか、撮影者以外の研究者にも供用できるようにしておきたい。或る天体の赤経と赤緯が与えられた場合、それが天域の中程なら 1 つ、周辺なら複数の天域の一定位置に見出される。変光星・新星・超新星・彗星あるいは、特異な色の星、移動する天体などの同定検出には、プリンクコンパレーターにのせて相互比較して用いる。

それでは、先ず最初にしたマイクロホトメーターから紹介しよう。

2. マイクロホトメーター

対物プリズムによるスペクトル写真または星雲状天体の直接写真に極く細い測定光束を照射して、その透過光を光電子増倍管に受けながら、載物台を一定の速度で駆動する。測定の記録は、ペンレコーダーのペンの動きで写真濃度を追いつながら、紙テープに数値データとして出力して計算機処理にゆだねる。測定光束は四角形で縦横それぞれ $10\sim 500\ \mu\text{m}$ に可変である。

この器械の本体は昭和 46 年度に、デジタル出力部は 47 年度に製作された。後述する他の測定器械に先がけて製作されたので、載物板の平面度、載物台の駆動精度、測定濃度値の安定度などの性能テストが慎重に行われた。この結果は、他の測定器械の設計上の資料となった。

マイクロホトメーターは、天体写真乾板の測定器械としては、最も一般的なものと考えられているが、それぞれに工夫がこらされて特長があることはいままでもない。本器械の特長は、先ず 14 インチ角の乾板が載ることである。従って、載物台の送りネジが長くなっていて、測定光学系を含む部分のフトコロが深くなっている。これらのことから、温度変化に対する光学系の機械的安定性に特に注意がはらわれた。載物板の広さは、50 cm 角の大きさで、中央の測定穴の大きさは 23 cm 角、駆動範囲は XY 共に 22 cm とした。これで 14 インチ角乾板を 4 回置き直すれば、向きを変えずに全面が測

* 東京天文台木曾観測所

K. Ishida: The Plate Measuring Machines of the 105 cm Schmidt Telescope System.

定できる。

光学系は2光路平衡型を採用した。単一の角型フィラメント沃素電球(10V, 70W)から、測定光と比較光をとりだし、両光路の経路をできるだけ相似形にして、光源電球の電源には安定装置をとりつけた。測定光と比較光はチョッパーを経て交互に光電管に投入される。乾板濃度が濃くなると、比較光の光路についているロータリー絞りが両光束の光量が等しくなるまでサーボモーターで駆動される。サーボモーターは光電管の出力で作動されている。

測定濃度の読み取りは、ロータリー絞りの回転軸に取付けた1回転10ビットのアブソリュートエンコーダーによる。出力は10ビットのうちの上端または下端の2ビットを無効として、純2進符号のまま、内8ビットを紙テープの1字に出力する。この方式ではパリティビットがないが、2進符号のまま、10進なら3桁になる数値を1字にさん孔するのだから、紙テープの長さは約4分の1に短縮されている。

ラスタ走査の始点と終点は、リミットスイッチによってセットしているが、その作動位置のばらつきが50 μm 以内におさまっているので、各ラスタ走査のさん孔開始指令は、X位置カウンターの1mmの位の桁上りの信号によっている。X軸の駆動ネジには、1回転5000パルスのインクリメンタルエンコーダーがとりつけられて1 μm 読みである。従って、各ラスタ走査のさん孔開始位置を、1 μm の精度で一致させることができる。

この器械を用いて今までに銀河や散光星雲の面輝度の写真測光、対物プリズムによる星のスペクトルのトレースなどが行われて来た。対物プリズムによる乾板で星の視線速度の測定などにも用いられるだろう。

3. アイリスホトメーター

これから述べる3台の測定器械は、同じ年度に併行して製作され、共通点も多い。特に、本体の骨組構造はいずれも横三角柱型をして、載物板を水平方向の1本の支持棒にのせて本体の斜面に沿わせている。乾板は、取っ手のある簡便な金枠に入れて、傾斜した載物板の斜面に沿わせて引掛けて釣下げる。こうして、厚さ1mmのガラス乾板の面精度を保った。

載物板の駆動範囲は、乾板の全面にわたる360mm角として、XY値の読み取りには無接触の光電式リニヤーエンコーダーを用いた。いずれも全長400mmで、1 μm 読みのインクリメンタル方式。乾板中心をXY共に200,000 μm にセットして用いる。

本曾観測所では、これらの測定器械を窓なしの部屋にコンクリートビヤールを置いて据付けた。温度は15~20 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度は40~70%にしてある。時を同じくして調整

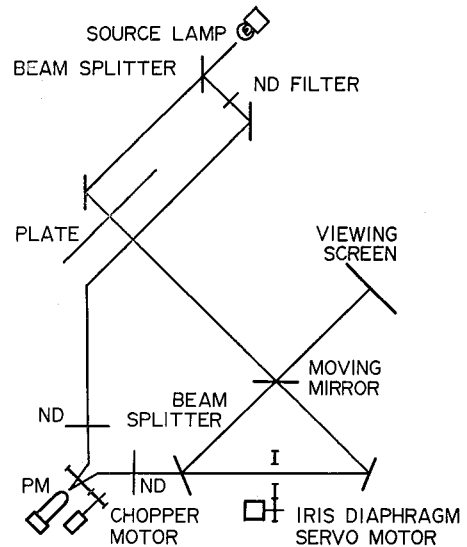


図1 大型写真乾板用アイリスホトメーターの光路を示すための模式図。本体を左側面から見たもので、投影スクリーンのある前面に測定者が坐り、乾板があるのは背面である。

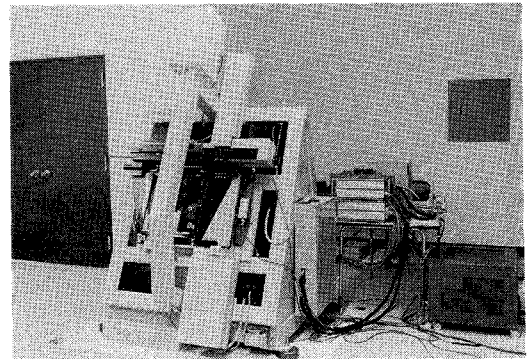


図2 大型写真乾板用アイリスホトメーターの全景

が進んだということもあろうが、このように測定室の条件を整えたことが、測定精度の向上に大いに効果があった。

さて、星像を1つずつ測定光軸に位置合わせをして、アイリス絞りの中に置いて、星の明るさを測るのが本器械である。光学系は、マイクロと同様に、2光路平衡型でアイリス絞りの回転軸に、13ビットのアブソリュートエンコーダーをとりつけた。マイクロと異なる点は、アイリス絞りが、比較光でなく測定光に入っていることである。従って、アイリスホトメーターでは測定光は、常に一定の比較光とバランスをとることになる。言い換えると星像の周辺からもれる光量が一定値になるように、アイリス絞りの開閉をサーボモーターがつかさどるわけ

で、星の混み工合や、空の黒みなどを考慮して、測定乾板によっては測定光束に ND フィルターを入れて調整するといひ。

星像の位置合わせは、測定者がスクリーンを見ながら行なうので、星 1 個当りの測定所要時間は約 1 分である。測定値は、8 単位紙テープに、ISO コードの偶数パリティ付で記録される。データ形式は、測定順番号 M につづく 4 桁の数、星の同定番号 S につづく 6 桁の数、座標の記号 X と Y につづくそれぞれ 6 桁の数、それにアイリス値 I につづく 4 桁の数から成っている。出力紙テープは、紙テープリーダーにかけて、XY 共に 100 μ m の精度で行われるプリセットに用いることができる。

通常アイリスの測定値の平均のばらつきは、1-5 目盛にわたっているが、おおむね 2 目盛で、星の明るさになおすと約 0.01 等に相当するばらつきに収まる。今までに散開星団 NGC 7822, NGC 2244, NGC 2264, NGC 2281, M3 などの測定に用いられている。

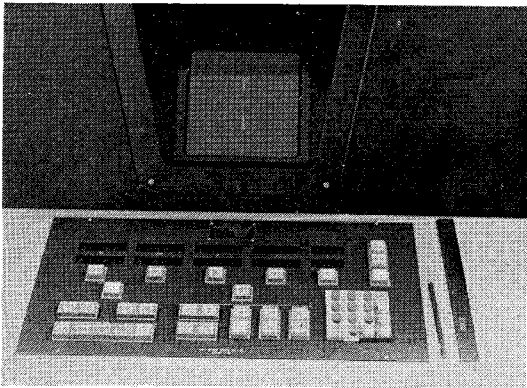


図 3 大型写真乾板用アイリスホトメータの操作パネル

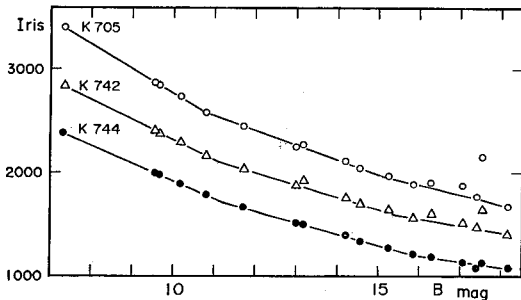


図 4 アイリス値と光度等級の間の特性曲線の例。いずれも B バンドで、露出時間は 60 分 (乾板番号 K705), 10 分 (K742), 2 分 (K744) である。NGC 2264 の nebulosity の中の微光星は、長時間露出の乾板では特性曲線の上へ飛び出している。

4. プリンクコンパレーター

スクリーンに、2 枚の同一天域の乾板を交互に投影して、特異な色の星あるいは変光星を検出して、その XY 値を測定するのが、プリングコンパレーターである。2 枚の乾板をスクリーン上で厳密に位置合わせする機構として、載物台の上で、右の乾板を x 及び y 方向に ± 5 mm の移動、左の乾板を $\pm 2^\circ$ の回転調整ができる。このように調整範囲はわずかなので、プリングして比較できるのは、同一天域番号の乾板に限られる。

載物台の上で、2 枚の乾板は、X 方向に並べることにしたので、X 軸の支持棒は 1750 mm という長さになった。支持棒の直線性と直交性の確保には、設計から調整の段階で大きな努力が払われた。AGK 3 星表の星の測定位置を天球座標に整約して検定したところ充分満足できる精度が得られている。

プリセットなどの測定操作、データ形式などは、可能な限りアイリスと共通にして、相互に出力紙テープを入力紙テープとしてプリセットに利用できる。紙テープリーダーとパンチャーも互換性がある。

プリングは、今までシュミットのハルトマン乾板の測定、あるいは一角獣座領域の赤外天体に同定された星の位置測定、新星の位置測定などに用いられて来ている。今後、M 型巨星など低温度星の掃天や、輝線星の検出などに用いられるであろう。

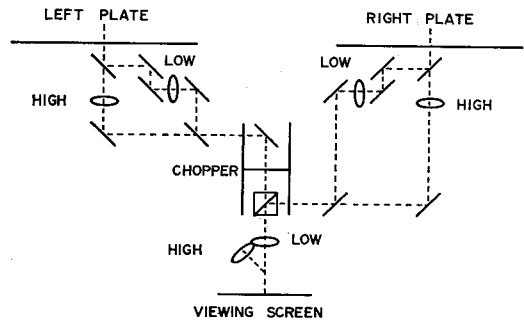


図 5 大型写真乾板用プリングコンパレーターの光路模式図。

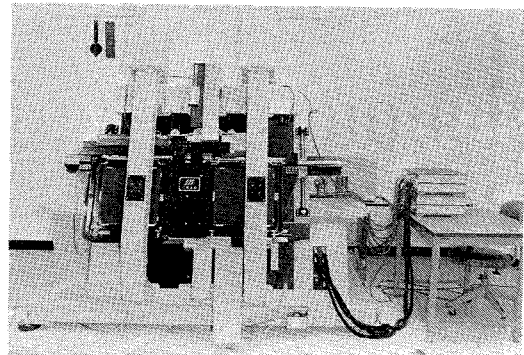


図 6 大型写真乾板用プリングコンパレーターの全景

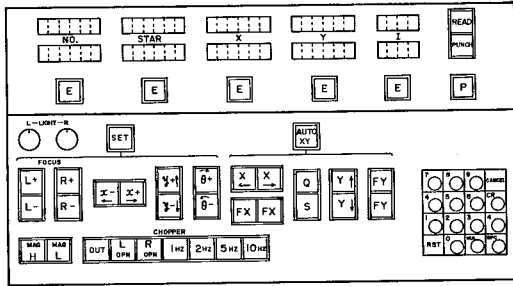


図7 大型写真乾板用プリンクコンパレーターの操作箱の模式図。

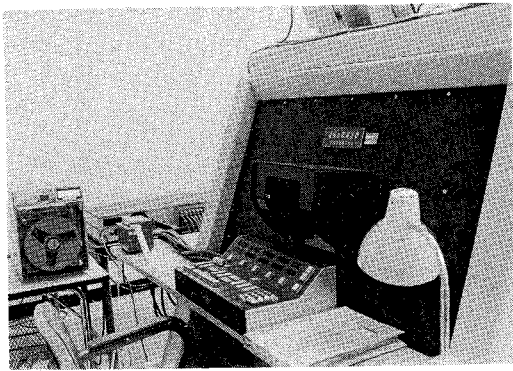


図8 大型写真乾板用プリンクコンパレータの操作面。

5. アイソホトメーター

写真乾板上で拡がりを持つ天体の等光度線図を描く装置である。従来、いろいろの方式のものがつくられて来たが、精度はいいが時間のかかるホトマルを用いたマイクロ式のもの、ぱっと結果はでるが精度の落ちるテレビカメラを用いたものというように、測定の所要時間あるいは光度又は座標の測定精度などにそれぞれ一長一短があった。

ここで処理する資料を量的に見ると、アイリスはほぼ2次元の乾板上で、点資料を処理している。マイクロは線資料を処理する、と考えると、それに対して等光度線図を作るアイリスの手続きは面資料を処理するわけで、圧倒的に多数の資料を処理することになる。このようなことから考えると、もしアイソホトメーターとして充分満足すべきものができたならば、それはマイクロの機能もアイリスの機能も含むことになると言っている。

丁度そのころ、Reticon社、Fairchild社などが固体撮像素子の市販をはじめた。固体撮像素子を含めていろいろな受光器の優劣の比較検討が慎重にすすめられた。最終的に、我々が採用したのは、Fairchild社のCCD 101 (Charge-Coupled Device) であった。これは30μmの受光素子500個からなる長さ15mmの1次元撮像素

子である。500個の素子に同時露光することによって測定速度を稼ぐことができ、固体素子であるから像の歪みはなく高圧電源は不要で感度の安定性に優れている。

固体撮像素子 CCD 101 の上に、650 W のハロゲンランプによる写真乾板の透過光を1倍で投影して、載物台を動かすと幅15mmの帯状の面から資料をとりだせる。500個のそれぞれの受光素子には照射光に応じた電荷が発生し各ホトゲートに蓄積される。それらの電荷はそれぞれのゲートにかけられるクロック電圧によって、いわばバケツリレーの方式で、シフトレジスターの中を順次転送されて CCD から出力される。ここでは500素子から電荷をとり出す繰返し周期、即ち1回の露光時間は750μ秒、読み取り1.5μ秒とした。CCD 101は、0.5-1.0μmの波長の光に対して飽和露光量0.16ルクス秒、ダイナミックレンジ大凡200から3000、走査周波数10KHzから1MHzまで可能という特性を持っている。

次に、CCDからのアナログ出力は、8ビットの純2進数になおし、バッファメモリーに入れた後、ブロックにしてミニコンピューター OKITAC 4300C に転送する。500個の素子についての感度差の校正などのルーチン処理の他、それぞれの研究目的に応じたソフトウェアによる処理を経て、等光度線図がえられる。その中には数枚の乾板の結果の差からゴミやキズを識別して取除

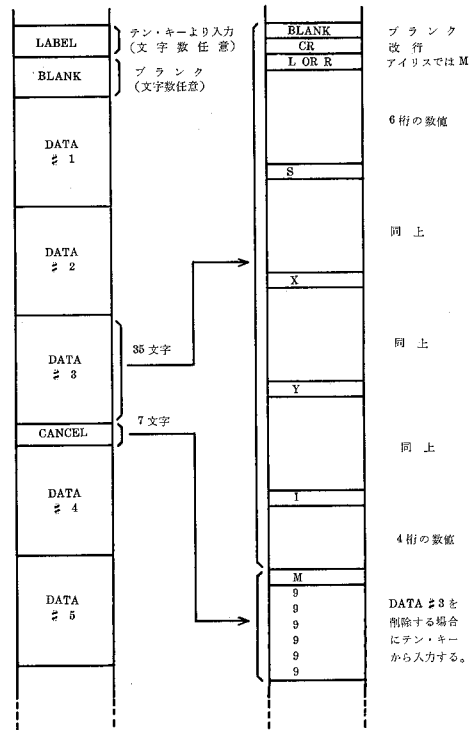


図9 データ紙テープのFormatの模式図。

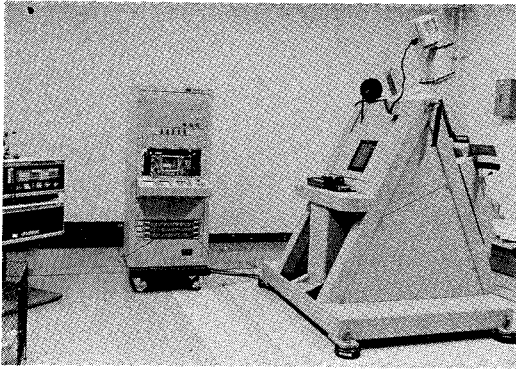


図 10 大型写真乾板用アイソホトメーター。右から順に、測定器械本体、操作制御部、制御とデータ収録用ミニコン及びPIO。

く、あるいは一般星野の星や遠方の銀河を識別するなどの処理が考えられる。実のところ木曾観測所の現有のシステムでは、作図や複雑な数値解析を行うには不十分で、データが書き込まれた磁気テープを大型計算機システムに持ち込むことになっている。

ここで気付くことは、我々のアイソホトメーターが、実は乾板上のアナログデータを磁気テープに書き込むための単なるA-D変換装置となっていることである。従って、例えばの話であるが、14インチ角乾板全面を30 μ mのピッチで2400フィート磁気テープに取り込むと

10巻で5時間を要する。しかし考えて見れば、写真乾板はデータの記憶容量と保存性において磁気テープをはるかにしのいでいる。磁気テープの役割は、一時的な運搬用の中間記憶装置と考えるべきである。何でもかんでもしまっておくのは、厚さ1mmの乾板にまかせて、可能な限りオンライン処理をして等光度線図を直接出力するか、さもなければ、なるだけ必要充分のデータだけを磁気テープに入れることにしたい。こうして、アイソホトメーターとしての特殊機能は、ソフトウェアに帰せられハードな器械は必要な分解能で乾板の濃淡を数値化していればよい。固体撮像素子の感度・分解能・ダイナミックレンジなどの向上は、その後著しい。充分な性能が得られるようになり各種のソフトウェアを取り換えれば、高速自動万能の測定が可能となるであろう。そして更に性能が上がれば、将来天体望遠鏡によって露光するのは固体撮像素子となって、写真乾板はデータの永久保存用として用いられることになるだろう。

話は若干脱線したが、現状はここに述べた4つの測定装置に、改良を加えながら使い込んで行くことになる。尚、それぞれの測定器械の詳細は、東京天文台報、第17巻、70頁、1973及び第18巻、132、260、360頁、1978を参照されたい。これらの測定装置の製作には、三鷹光器KK、新電子工業KK、池上通信機KK、沖電気工業KKに多大の御尽力をいただいた。

書 評

「暦の語る日本の歴史」 内田正男著

(そしえて文庫5, (株)そしえて, 1978年, 1,300円)

著者の内田氏は先に暦と人間生活との関連に視点を置いて「暦と日本人」(雄山閣, 昭和50年)を上梓されたが、今回は主に我国の暦法の発展史に照明が当てられている。さりげない身近にある一つの事物に秘められている歴史を追求して行こうという「そしえて文庫」の一冊として本書は出版されたのであるが、充分にこの主旨が生かされ、成功していると思う。

本書の主題は暦を使用する者の側からではなく、暦を造り、改革して来た人々の側から見た暦の歴史であるから、普通にはあまり知られていない、いわば暦の裏面史に興味深く読むことができる。特に江戸時代の改暦事情について、近年明らかにされて来た史実がよく消化され、明解に語られていることは有難い。暦語及びその歴史の予備知識を持ち合せない読者には些か退屈かも知れないが、そのような読者でも、本書を一つの手がかりとし

て、ぜひ暦に関心を持つようになって欲しいと思う。

本書は甚だ明解である。しかし太陽暦は簡単明瞭であるが、これに反して陰暦(いわゆる旧暦)は面倒で難解、さらに諸悪の根源であったと割切られてしまうと、少々納得しかねるものを感じるのである。歴史は複雑なものから簡単なものへと進んで行くとき常にいえるかどうか。また暦と迷信はよく対向のように用いられている。確かに暦注には迷信が満ち満ちていて、全くナンセンスである。しかし迷信を馬鹿にするだけでは、話は片づかないと思う。現代の科学の中にも案外迷信が横行しているかも知れない。浅はかな人間は、それにまだ気がつかないのである。なぜ気がつかないのであるか。どうすれば早く誤を改めることができるのであるか。暦の歴史がこの疑問を解いてくれるかどうかはわからないが、何らかの手がかりを与えてくれるならば、大へん喜ばしいことではないだろうか。

しかし先ず暦の実体とその歴史を知ることが必要である。本書はこのためには大へん有益であり、一人でも多くの人々に一読をすすめたいと思う。

(長谷川一郎)