

シュミット望遠鏡による観測

高瀬文志郎*

1. はじめに

18世紀の7~80年代, 恒星天文学の祖ウィリアム・ハーシェルは, 当時最大の望遠鏡であった自家製の18インチ反射鏡で, 掃天観測による星のカウントを行ない, その結果われわれの周囲の星々が作っているシステム——銀河系——の構造をはじめて書き出した。“最大の望遠鏡で全天をしらべることが宇宙を知る最善の方法である”というのが彼の指導原理だったのである。現在, 最大の望遠鏡は視野が狭くて掃天には無理なので, その部分を“掃天に最も性能のよい望遠鏡”といいかえる必要があるが, 掃天観測が宇宙を知る最善の方法(の一つ)であることには変わりがないであろう。そして, シュミット望遠鏡こそは, この“掃天に最も性能のよい望遠鏡”にほかならないのである。

2. パロマー写真天図

シュミット望遠鏡の観測成果といえば, だれしものがまず, パロマー天文台の48インチ(120cm)シュミット望遠鏡によって作られた掃天写真を思い出すであろう。

このシュミット望遠鏡は, おなじパロマー天文台に200インチ(5m)の大反射鏡が据えつけられた翌年の1949年に完成し, さっそくアメリカ地理学協会をスポンサーとして, 掃天写真作製のための観測に入った。同天文台

から精度のよい観測ができる赤緯 -27° 以北の天域やく3万平方度が, 6° おき, $6^{\circ}6'$ 角の写野で撮影され, 青と赤の二つの波長域(青の方にコダック103a-Oの乾板を使い感光域3500~5000Å, 赤の方は同じく103a-E乾板にプレキシガラス2444の赤フィルターを組み合わせて, 感光域6200~6700Å)で撮影されている。1956年までの7年間にこの部分を終わり, つづいて赤緯 -33° までの拡張分(この部分は, 精度が少しおちる)の観測が行なわれた。われわれの手に入るのは, 全数935対に達する撮影原板のプリントコピーである。(最近ではガラスコピーも売り出されている)。

この原板やコピーからは, つとに幾多の新発見や新研究がなされている。一例をひろうと, エイベルは13個の球状星団を新たに見つけ出し(1955), 2,700個の銀河団(メンバー数30個以上のもの)のカタログを作った(1958)。ツウィキーほか4人は, 銀河帯を除いた赤緯 -3° 以北の天域で16.5等までの銀河31,350個と, 50個以上のメンバーをもつ銀河団9,700個を登録し, 5巻のカタログに収めている(1961~68)。その他惑星状星雲や微光彗星, 特異小惑星(中でもイカルスが有名)なども, 数多く発見されている。

ヴァンデンバーグは, パロマー天図(青プリントの方)を使い, 渦巻銀河および不規則銀河について, いわゆるDDO分類法をあみ出した。銀河の渦巻の発達程度と絶対等級との間にある相関関係にもとづき, 天図上の銀河

* 東京大学理学部天文学教室

B. Takase: Astronomical Observations by Schmidt Telescope

(前頁よりつづく)

測が順調に進めば進むほど, 最初のうちは測定や整約に忙殺されることだろう。しかし, 測定や計算を自動的に行ない必要な観測結果を記録する幾つかの測定機が順次完成するにつれて, 共同掃天観測は円滑にルーチンの軌道に乗ってしまうであろう。しかし, この場合特異天体の発見や探索に十分な配慮が必要であることは, QSS, QSOあるいはパルサーなどの発見が天文学にどのような新局面を展開させつつあるかという例からも明らかだから, 新天体らしいものも見付けてくれるに相違ない。そうすればシュミット望遠鏡で可能な観測を行ない, その結果に基づいて岡山天文台の74吋反射望遠鏡による適切な精しい観測が行なわれ, 思いがけぬ現象に驚かされるかも知れない。

対物プリズムをつけての分光観測の方は, 恒星の分光型分類ならば, 恐らく前記のテスト段階の時期を経れば軌道に乗り, 自動測定機でも考案されれば, ルーチン化されてしまうであろう。しかし, この大型シュミット望遠鏡による研究プロジェクトのうち, 興味のあるものの一つ, すなわちフェーレンバック方式による星雲(一般銀河)の視線速度測定は, 前人未踏の観測技術の開発であるだけに種々の困難が伴うかもしれない。フェーレンバックは以前に何人かの人達が試みては放棄してしまっていた対物プリズムによる星の視線速度測定を, 永年に亘る工夫と努力とによって遂にルーチン化に成功している。したがって, この野心的な試みがやがて成功して宇宙論的に面白い成果が現われるであろうことも期待しておきたい。

の渦巻の様子を見分けて、光度階級分類を与えるものである。935 個の銀河が分類の対象になっている(1960)。

東京天文台の田鍋氏は、ある天域での“星明り”の量をしらべる目的でパロマー天図上の星像直径を測定する装置を創案した。等級のわかった星について、あらかじめ直径と等級との間の関係式を求めておけば、直径測定器の測定結果から、その天域での星の明るさの総量が得られるわけである。なおこの測定はそのまま、何等星までの星が何個あるという星のカウントにもなることはいうまでもない。また青赤両天図についてこの測定を行えば星の等級と色についての二次元分布も得られるわけである。

以上、パロマー掃天写真にもとづいた発見や研究の数例を述べて、シュミット望遠鏡による観測結果の一端をうかがって見たわけである。

3. シュミット望遠鏡の特長とその役割

シュミット望遠鏡は、ふつうの反射望遠鏡に比べて、広視野で明るいことが特長である。もっとも明るさの方では、ふつうの反射望遠鏡にも、キットピーク天文台の 84 インチ鏡が F/2.8, ハーストモンソー天文台の 98 インチ鏡が F/3 など、最近の大口径シュミット望遠鏡の明るさ(F/2~3 程度)に劣らぬものがないではない。しかし一般的にみて、シュミット望遠鏡が明るいことは事実である。一方コマ収差なしの写野の方は、ふつうの反射望遠鏡では補正レンズをつけても数十分にしかすぎないのに対し、シュミット望遠鏡の場合、コマ収差による写野の制限は全くない。ただ補正板の光軸とある傾きをもった斜入光線に対しては、いわゆる軸外収差が生じ、それによる像のぼやけが写真乾板の粒子サイズを超えないような写角の上限 ϕ がきまる。一方、補正板および主鏡の間隔と口径差の間の幾何学的関係から、光軸との傾きがある角度以上の光線は、主鏡の反射面の外へはみ出して反射されない、いわゆるケラレの現象が生じ、結果として乾板周縁部の像にカゲリ (vignetting) があらわれる。そ

れがあらわれないような写角の上限を θ とすると、 ϕ と θ の小さい方が、シュミット望遠鏡の有効写野になるわけである。

第 1 表に、既設および計画中のおもなシュミット望遠鏡の ϕ と θ を、各要素の大きさや、他の二三の量とともに示した。 ϕ と θ および限界等級 m_i の計算式については石田氏の別稿を参照されたい。

上記のようなシュミット望遠鏡の特長を生かした利用法として、(1) 拡がった天体の観測、(2) 掃天的、および (3) 監視的観測、が考えられる。

(1) 拡がった天体の観測

彗星、星団、星雲、近距離の銀河、銀河団などには、数度の拡がりをもったものが少なくない。たとえば、
池谷一関彗星 $\geq 20^\circ$ 、多胡-佐藤-小坂彗星 $\sim 3^\circ$
ヒヤデス星団 7° 、プレヤデス星団 2°
北アメリカ星雲 2° 、オリオン星雲 1°
アンドロメダ銀河 3° 、三角座銀河 1°
乙女座銀河団 12° 、かみのけ座銀河団 6°

といった具合である(長短径のあるものは長径の値を示した)。シュミット望遠鏡ならば 1 枚の乾板におさまるのが、ふつうの反射望遠鏡だと、数枚をつぎ足さなければならぬ。そのための均質な撮影現象をするのが、なかなかむつかしいのである。

(2) 掃天的観測

前に述べたように、緯度 $30^\circ \sim 35^\circ$ 帯でよい精度の観測ができる天域の面積は約 3 万平方度もある。これを能率的に掃査するのは、何ととっても広くて速い(明るいために露出時間が短かくてすむ)シュミット望遠鏡の役割であろう。

さてこのような掃天観測は、写真観測と、対物プリズムによるスペクトル観測の両者について考えられる。

写真から直接得られるデータは、諸天体の天球上の位置、数(分布密度)、形態、みかけの大きさ、みかけの明るさ、色(二つ以上の波長域で撮影することが必要)、

第 1 表 各地の大口径シュミット望遠鏡一覧

天文台名	ビュラカン	ウプサラ	ESO**	パロマー	タウテンブルグ	(東京)
補正板口径 D (cm)	100	100	100	120	134	105
焦点距離 f (cm)	213	300	300	300	400	330
口径比 F	2.1	3	3	2.5	3	3.1
球面鏡口径 R (cm)	131	135	160	183	200	150
乾板上スケール ($''$ /mm)	97	68	68	68	52	62
軸外収差のない写角 ϕ°	5.3	7.5	7.5	5.7	6.5	7.7
vignetting のない写角 θ°	4.2	3.3	5.7	6.0	4.7	3.9
限界等級 m_i (等)	19.0	19.5	19.5	19.5	19.9	19.7

* シンチレーションサイズ $S=2''$ のときの値

** ヨーロッパ 6 カ国連合南天天文台(在チリ)製作中

および固有運動（ある年数を隔てた二回以上の観測が必要）である。一方スペクトル観測からわかるのは、スペクトル型と視線速度である。ただし対物プリズムによって視線速度を求めるには特別な工夫が必要で、これについては富野氏の別稿を見ていただきたい。

もし何らかの方法でそれらの天体の距離がわかれば、上記の直接観測量から二次的なデータとして、空間位置、空間密度、空間運動、実際の大きさ、絶対等級がわかる。そして掃天観測により、広天域の天体についてのこれらのデータが得られると、諸天体の空間分布、密度分布、速度分布、絶対等級の分布（光度函数）、絶対等級とスペクトル型または色との関係（HR 図、C-M 図）、銀河の等級と赤色変位の関係（ハッブルの法則）など、恒星天文学、銀河天文学の基礎的な情報が用意されるわけである。銀河系や宇宙の構造、進化の研究上、シュミット望遠鏡の果す役割はまことに大きい。

電波天体以後、QSO（恒星状天体）、X 線天体、パルサーなど諸種の新天体があいついで発見されてきたが、それらの光学的な同定を掃天的に行なうのも、シュミット望遠鏡に課せられた仕事であろう。もっと歴史の古い天体でも、小惑星などは、まだ発見同定される可能性があると思われる。

(3) 監視的観測

ある天域に出現が期待される天体（人工衛星、彗星、新星など）の見張りをするパトロール的観測も、シュミット望遠鏡の広い視野を活用した観測分野である。東京天文台の堂平観測所にあるペーカー・ナン・シュミット望遠鏡は周知のように人工衛星追跡用であり、同所の 50 cm 彗星写真儀は彗星掃索用として設置されたものであることを付記しておこう。

4. 観測プロジェクト案

東京天文台で計画されているシュミット望遠鏡は、第 1 表でも示したように、有効視野が 4° 弱であり、また口径比も他のものよりやや暗い。したがってパロマーのシュミット望遠鏡で行なわれたような全天のサーベイをやるのが必ずしも適切とはいえないであろう。しかし焦点距離がタウテンブルクのものについて長く、したがって限界等級や分解能（スケール）の点ですぐれている。なお口径比が大きいので、色収差を無視できる波長範囲がよそのものより広いという利点もある。その計算式については石田氏の稿を参照されたいが、補正板の材質をクラウンガラス BK7 とするとき、色収差による像の大きさが乾板粒子サイズ (20μ とする) を超えない波長範囲は、

中心波長 4358 Å (g 線) に対しては 3400 Å ~ 6650 Å

中心波長 4861 Å (F 線) に対しては 3700 Å ~ 9300 Å となる。(パロマーのシュミット望遠鏡では上記の場合に

対応する色消し波長範囲にそれぞれ 3750 Å ~ 5200 Å および 4200 Å ~ 6500 Å にすぎない。) 赤感乾板では多少粒子サイズが粗いことを考えると、われわれのシュミット望遠鏡では、U (3500 Å) から R (7200 Å) までは十分カバーできるであろう。以上のような諸点を考慮すると、東京天文台で計画中のシュミット望遠鏡にはつぎのような観測プロジェクトがふさわしいと考えられる。

(1) まず基本的な観測としては、主要選択天域について、標準測光系のいくつかの波長域 (U, B, V, G, R, I など) で写真撮影をする。パロマーの二色写真では判定し難い非常に青い天体や、非常に赤い天体の掃査発見が期待される。R や I の写真は多少月の光があっても影響がないので、マシントイムの面からみても有利であろう。

(2) つぎに関係研究者から提出されている個別的なプロジェクトの数例を挙げておこう。

(2a) ガス星雲 (HII 領域) の観測

ガス星雲を H α , R, I などの波長域で撮影し測光する。こうして星雲の構造をしらべるとともに、これら相互間および電波での観測結果を比較し、この星雲の方向の吸収物質についての情報を得る（長波長で見るとほど吸収量が少ないことを利用して）。

なお星雲の構造には種々興味ある問題があるが、繊維状構造もその一つである。HII 領域のもののほか、白鳥座ループやかに星雲のような超新星のなごりの星雲での繊維状構造はフィラメントのむきが切線方向のものと同径方向のものとの対照がいちじるしい。これらの研究に、シュミット望遠鏡の写真観測資料が役立つであろう。

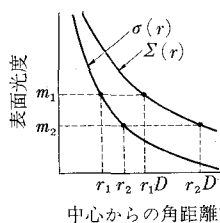
(2b) 星団の観測

星団のメンバーシップを確定するには、運動が共通かどうかを見るのが第一のきめてである。シュミット望遠鏡による固有運動の測定精度は検討すべき問題であるが、広い範囲が一度に測定できれば、能率的にメンバーシップの判定ができると思われる。

メンバーシップがきまったら、星団の星の C-M 図や光度函数を求めること、特に赤色矮星の側をくわしくしらべることが、よい課題であろう。

(2c) 銀河の観測

みかけのサイズの大きい近距離の銀河の構造を総体的にしらべるのに、シュミット望遠鏡の観測が必要なのはすでに述べた。一般の銀河の観測については、パロマーのものより限界等級と分解能の高いわれわれのシュミット望遠鏡が、それらの同定、分類、等級決定に寄与するところが少なくないと思われる。コピーされたパロマー天図では望めない微妙な測光も、われわれ自身の撮影した原板でならのできるわけで、ともかく自前の観測資料を持つことは強味である。



第1図

図中 $\Sigma(r)$ と $\sigma(r)$ は、ある銀河をそれぞれ 1 Mpc (標準の距離) と D Mpc においた場合の表面光度曲線。銀河の明るさと表面積はいずれも距離の自乗に反比例するので、銀河上の各点の表面光度は距離によって変わらない。一方中心からの角距離は距離に反比例して変わるので、図に示すように $\sigma(r) = \Sigma(rD)$ の関係が縦軸のどの場所でも成り立つ。そこであらかじめ距離の知れた銀河で $\Sigma(r)$ を作っておけば、距離未知の銀河の $\sigma(r)$ から、その距離 D を得る。

銀河の距離決定を目的としてその表面光度分布をしらべる観測(第1図参照)もシュミット望遠鏡を使えば非常に能率的である。視直径が乾板上で 1 mm 以上あれば、銀河の直径にそってのマイクロフォトメーターによるスキャンで、その光度分布を得ることはそうむずかしくない。そのような銀河は約 2000 個あるので、それらについて距離の推定ができるわけである。現在ハッブルの法則を使って赤色変位から距離を求めた銀河が約 350 個、DDO 分類で光度階級の与えられたものが 935 個なので、上記の方法による決定は、銀河の距離についての現在の知識を大幅に前進させるであろう。

なお銀河の視線速度の観測プロジェクトについては富野氏の別稿を参照していただきたい。

(2d) 銀河団の観測

星団と同じく銀河団についても、その光度函数を得ることは重要な課題である。銀河団の光度函数はまだはっきりしておらず、絶対等級 M の増加とともに単調に増大を続けるという考えや、 M のある値(単数または複数)で極大や折れ曲りがあるらしいという考えがある。その判別には、なるべく暗い銀河まで、メンバーシップと等級を確定することが必要であることはいうまでもない。

さてシュミット望遠鏡の限界等級を 20 等とすると銀河団の距離(距離指数 $m-M$ で表わす)によって、観測可能な絶対等級 M の限界がきまる。すなわち、 $m-M < 30$ 等(乙女座銀河団だけ)では $M < -10$ 等 $30 \leq m-M \leq 35$ (約 10 個ある)では $M \leq -15$ $35 \leq m-M \leq 37.5$ (約 100 個ある)では $M \leq -17.5$ ということになる。 $M \sim -10$ 等といえば局部銀河群中の彫刻室座矮小銀河のクラス、 $M \sim -15$ 等は M32 などの小型楕円銀河、 $M \sim -17.5$ 等はマゼラン雲のクラスである。銀河団の中の最も明るい銀河の M は非

常によく一致していて、 $M_V \sim -22.4$ といった値が出されているので、約 100 個の銀河団については少なくとも 5 等の幅で光度函数が得られることになるわけである。

5. シュミット望遠鏡による観測の今後

第1表に示した ESO (欧州南天天文台) の 100 cm シュミット望遠鏡は、1969 年末の完成予定が少し遅れているようであるが、やがて活動を開始することであろう。この望遠鏡はパロマーのものと同じ焦点距離に設計してあるので、同一スケールの写真が得られることになる。おそらくはパロマー写真天図の南天版の作業が、このシュミット望遠鏡のプロジェクトとして取上げられるのではないかと思われる。

繰返して述べたとおり、シュミット望遠鏡の利点は、“広く” “速い” 観測ができることである。その反面、“深く” “細かい” 観測は、限界等級が高くスケールの細かい大反射望遠鏡が分担してきた。ところが、最近では、その双方の性能をもつようなシュミット望遠鏡が、アーヴィンなどによって提案されている(1968)。

彼の提案は、補正板口径がパロマーのシュミット望遠鏡の倍にあたる 96 インチ (240 cm)、焦点距離がパロマーの 3 倍の 360 インチ (9 m)、球面鏡口径が 340 cm のシュミット望遠鏡を、南北両半球に一つずつ設置することである。限界等級はパロマーのものより 2.4 等上るので約 3 倍遠くまで、したがって約 30 倍の体積を観測することができる。またスケールもパロマーのものの 3 倍 ($23''/\text{mm}$ —岡山 188 cm 反射望遠鏡=ニュートン焦点のスケールと同じ) になるので、観測がそれだけ細かくなる。ただし $F/3.75$ とやや暗くなるのと、写野角(約 6°) をフルに使うと乾板サイズが 1 m 角にも達して無理なので、もっと小さな写野にせざるを得ないことで、掃天にはかなり時間がかかることになる。しかしこの望遠鏡による観測結果、掃天結果がいかにみり豊かなものであるかは、容易に想像できることであろう。

このような望遠鏡が実現すれば、最初に書いたハーシェルの“最大の望遠鏡による掃天”という理想に一歩近づくことになるわけである。なお、アーヴィンがいう通り、このようなシュミット望遠鏡の建設は、技術的にも予算的にも、十分可能であろうと思われる。(ちなみに彼による見積り額は、1 台あたり 500 万ドルすなわち約 20 億円である。)

今後のシュミット望遠鏡の、少なくとも一つの傾向は、このような長焦点化であろう。東京天文台で計画中のシュミット望遠鏡も、ささやかながらその方向に一歩をふみ出すものである。