

反射望遠鏡の研究 (二)

京都天文台助手 中村 要

反射鏡を正しい拋物線鏡に作りあける爲に反射鏡製作に最も重要な影の試験及び帶試験法は反射鏡を購入した時にきれ位の正確さであるか或は何處に誤りがあるかを知るに必要である。山崎氏が天文月報に影試験法を發表せられたが此れを某雜誌に甚だ誤り傳へた人があるので長つたらしいが書きあける。

自分は餘り經驗はないが深い興味は持つて居る。此の章を書くにあたつて主として此の道のオーソリチーである。デヴィス氏の

Rev. C. D. P. Davies; On the testing of Paraboloidal Mirror
を主なる參考としアメリカの製作者

R. W. Porter; Knife-edge shadows. 及び

G. W. Ritchey; Method of testing of Mirror.

をも參考とした。

反射鏡を作る順序として必ず完全なる球面に作られ次に中央を磨り下けて拋物線に切りかえられる。球面でない面を始めより作る事は不可能であつて必ず一度は球面される。球面から他の球面でない面にする事を Correction と呼び其の操作

を Figuring と稱する。フーコーが一八五七年影の試験法を發見したので反射鏡製作に一紀元を作つた。彼の父子ハーシエルも簡單な此の方法を知らなかつたばかりに望遠鏡で覗くまできれ位の鏡形を得たか分らなかつたのである。

拋物線鏡の製作は一八世紀にジェームス・シヨートがすでに祕術を握つたが傳えられて居るが唯にも傳えず方法は彼と共に死んだ。試験方法としてはフーコーに始まりコンモン、ドレーバー特にリッチー等により極めて精密になつて居る。又試験法の改良と同時に英國のウイス、カルバー米のブラシアー、リッチ等により優良なる鏡が作られて居る。

影の試験は焦點でなく曲面の中心で行ふ試験法である。人工星は黒紙に開けた徑半ミリ位の正しい圓形の穴で光源は電燈でもランプでもよい。よく研いだ小刀を垂直に立てる今一つ鏡も垂直に立てかけて第一圖の様な裝置をする。鏡と人工



星の距離は焦點距離の正しく二倍で人工星の像の位置と人工星とは光軸が同じ高さで等距離にあり出来るだけ近くなる。人工星の焦點の所で小刀が左から右に垂直に動く様にする。此れ等は据えてから注意して修正する。

人工星から出た光線は鏡に當つて一部分反射され光軸の反

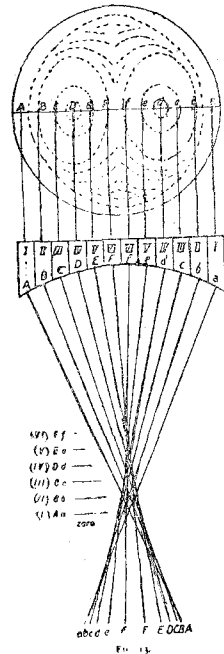
對側で焦點を結ぶ。此の焦點の所に目を置く。鏡面は満月の如く光つて居る。暗室内であり點であるからなれない。仲々見出しにくい。次に満月を見ながら目に接して小刀を左から右に垂直に動かして光束を切る。焦點内なれど左から外なれば右側から月が缺けるがよく判斷して段々焦點の近くにもつて來つてくる。今若し鏡が完全な球面鏡であれば像は點であるから丁度焦點を小刀で切れば月は一様に消失する。若し表面に不規則な部分があれば明るい部分と暗い部分が出来る。球面鏡は此の原理で作れる。所が拋物線では焦點像に收差がある。即ち一様に消失しないで小刀で切られた部分のみが暗くなりあかさも影がさした如き様子になる。此の影の判斷によつて拋物線かどうかを決定する。拋物線鏡では端の方が焦點が長いから影で判斷しながら周圍が一度に消失する點即ち端の焦點を求め、で影の研究をやる。(デヴィス氏の方法)

第二圖を見られたい。拋物線鏡の球心に於ける收差を著しく書いたものである。小刀で切る場所はゼロと記した所である。今小刀を左から右に進める時は圖の通りd線を切りdを中心にして上下に長い影が出来る。第三圖aは此の時の影である。小刀の進むに従つて急速に第二圖の點線にそつて影が發達する。影の右側が端に近づく。突然全周に左側にも影が出来る。其度はdを中心として光斑を残し圖(c)消失する。

此れは典型的の影で良い鏡では一様に發達する。影の出來

第二圖

一八

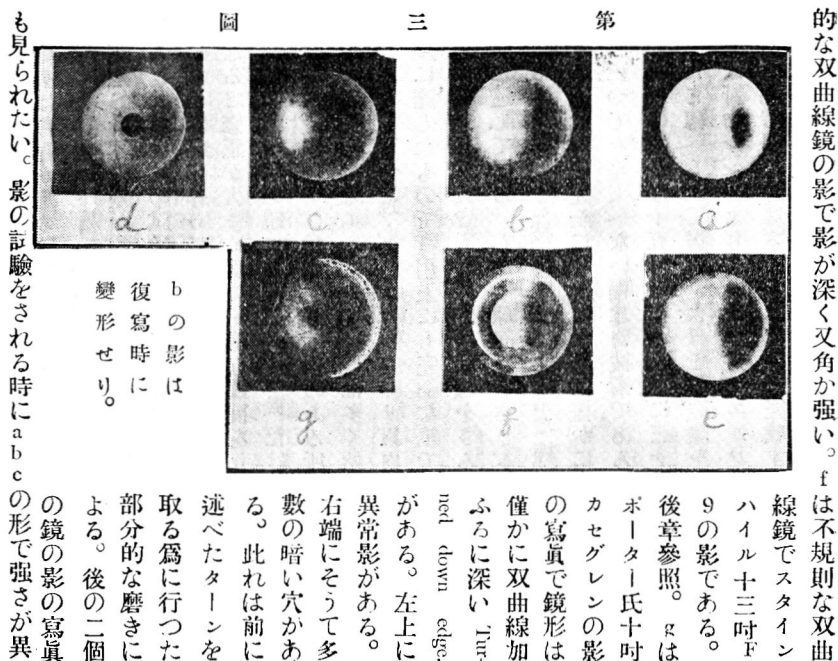


る理由及び形の進行を圖でよく考えてもらいたい。影は實地見ない。三分かり難い。影試験は鏡面の誤を数千、萬倍に擴大して其れに右側より光を投じて影の形を研究する。同様で一般鏡形を知る唯一の方法である。

所が影はF數で強さが異なり又橢圓でも双曲線でも似た様な影が出来る。右側に影が見えない故に拋物線ではない。影ではF8位が最も鏡面の誤が知り易い。F10或は一二位となる。小口徑で殆んど影らしいものは見えない。殆んど一様に暗くなる。若し影が見えたら鏡面は双曲線である。此れもF8の鏡面が喜ばれる理由である。影のみで拋物線を區別する事は困難で、鏡面に不規則な部分があるか無いかを知る便法である。

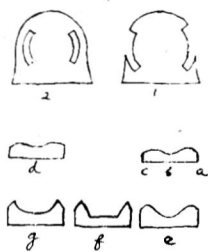
a b c はF7の鏡の影でデヴィス氏の圖である。影の發達をよく示して居る。d はポーター氏自作の十二吋F4のカセグレン鏡の影の寫真である。b c 影を比較すべし。e は模範

第 三 圖



るものに見れば誤は無いが F 8 の鏡では正常な位置に出来る鏡は珍らしく形なり位置も少々異なる。

第 四 圖



如何にして鏡形を判断するかと言へば影の立體の形である球面は平面に見える。第四圖に前圖の立體を書いたが此れに右側から光が進む時に出来る影と同様な又鏡は目で其

の様な立體に見える拋物線では b 或は d の如き一樣な立體で e の双曲線は随分異なる。六吋半 F 8 の拋物線で中央の球面ミ拋物線の差はほん十萬分の一吋で此れだけが随分著しい影を作るのであるから鏡面の數十乃至百萬分一吋の硝子面の凹凸を影の異常で知る事は出来る。

影の試験で大體正しく一樣な鏡に分かつても Correction が果してきれ位正しいかは次の帶試験で無いと分らない。

帶試験は鏡面の中心より等距離にある帶の焦點を測定し端の焦點との差異を理論上の値と比較する方法である。便利上 h の如き帶板 "Zone Plate" を鏡の上にあて、光束を小刀で切つて左右一度に消失する即ち焦點を測定する。〇・一ミリまでは測定し得る、五つは測定して平均値を取る。中央ミ或る帶の焦點の差は次の式で表はされる。r を帶の徑 R を彎曲半徑とする。

收差^レ

で中央は焦點が定め難いから端からに切りかえる。(測定例参照) 帶の幅は $3\frac{1}{4}$ 吋或は一吋。

測定に計算の差が收差であるが球心では丁度四倍になつて居る。此れは此の試験の極めて有力なる理由である。球面でない面は非常に作りにくい。特に大口徑短焦點^F點四、五等になるに修正が大きい爲に一樣な鏡面を作る事は非常に困難である。數十吋の鏡になるに *figuring* だけに少なくとも一年ばかり。又此の試験によつて誤のある所は反射鏡製作時に鏡形をかえねばならぬ。双曲線鏡は多く始めからやり直す必要がある。收差の球心に於て 0.2 ミリ以内の鏡は人の能力の極度に達したもので實用上にも完全な鏡である。最良の鏡では最大誤差と言えども理想的の曲線をさる僅かに數百萬分の一時に達して居る。しかし球面からバラボラに切り換える。

Parabolization なる技術は僅かに非常な経験によつて得られるもので此れを完全に會得した人は僅かに現在まで僅かに數人といつても差支へない程尊い技術である。彼のドレーパー氏が一箇の完全な十五吋を作るまでに三ヶ年間に登る鏡を磨いたと傳へられて居る。よほどの経験を有する。しかし経験家は對物レンズよりよほど容易くエリソン氏の如きは作り初めて九時間あれば六時半は充分に完成するといつて居る。

ポーター氏の言によれば六吋 F で僅かに十五分でバラボラに

なるそうである。しかしバラボラと言つても球面から鏡面を一樣にバラボラにする事は非常に困難でよく端が急にへり過ぎたり一部分球面で一部分拋物線になつたりする。

小口徑は以上の試験法で充分であるが大口徑では球心では収差が大き過ぎて測定し難いとか或は従つてよい鏡形が得られないとかの缺點が起るので一枚の大鏡と同口徑もある平面鏡の助けで焦點で試験する様にリッチー氏が改良した。此の方法では双曲線小鏡も作り得る収差が此の方法では二倍になつて表はれるのこ又一つ影試験が焦點で行えるので影試験が甚だ有力になる。詳細は長くなるので書き得ない。

何れも此れ等の試験には鏡を据えて一時間後鏡の温度が平均するのを待つて行ふ。

影試験は一般鏡形を知るに便利であり帶試験は収差の程度を知るに重要である。寫真的には此の試験を行へば極めて有力である。

試験の結果によつて製作中のものは所謂 *figuring* をやらねばならぬ。双曲線である場合には非常に困難である。

購入したもので再三試験して多少の収差はあつても實用上差支えなければそれでよく。像が悪ければ製作者に返し更に *figuring* させる。古物或は多年使用して不完全な所を発見すれば適當な人を得れば廉價に *refining* にする事が出来る。英國ではカルバー、エリソン等によりタツチされるので英國

では不完全な鏡は極く少ない。少々の收差でも平均の *Con-
fusion disk* の直徑が分離の極度内なれば實用上完全である。

反射鏡を求められる時の參考に思つて試験結果と共に主として代表的の製作者の鏡に關する事をも自分の測定や雜誌に散在して居る事實をまぎめて以下を記した。極めて亂暴な試みであるので誤れる所があるかも知れぬ。しかし現在日本にある一流の製作者の鏡總てを研究する事は興味多き事と信ずる。

隨分缺點も指摘したが日本にある六個の鏡は皆良いものだと言える。しかし屈折の方でアラ探しを書いたら御話にならぬ物の方が多い事を斷つておく。其の中で筆者及び大坪氏のエリソン及びスコフィールド氏カルバーは日本にある最良の屈折の二三個と同等或は以上である。

ウイス氏の鏡 *With mirror*

銀面反射鏡の開拓者として又熟練家であつた。一八七〇年頃まで作つたが不幸影の試験を知らなかつた。此の爲に現代の鏡から見れば完全でない。それでもたゞ經驗ミ星の試験により良いものを作つて居る。現今英國に於て反射鏡が隆盛であるのは最初に彼が良き鏡を作つた爲である。彼の鏡は大部分後年カルバー氏やエリソン氏がリタツチして居る。エリソン氏はウイスが暗黒で作つた鏡の殆んど完全な事には誰もが驚かされ、若し影の試験を知つて居たならばされ位鏡の性質

が良かったが知れないと言つて居る。彼の代表的のものとしてオックスフォード天文臺十吋 F 八〇・五吋のものをデヴィス氏が測定したものをあげる。

γ 45854 文盤 - 03 ミリ 仲々良い鏡形で適當に *Undercorrect*

3.75 1.05 されて居る。少々不規則で三・

2.916 1.07 七五吋に谷がある、影によるこ

2.08 1.07 *Tundown* がある。夜、温度下降

1.25 1.11 し、ある時には殆んど完全な

鏡で集合像の計算よりしても實際上完全である。彼の鏡の大部分が現今第二流の製作者ものより良い事は誤なき事實であらう。彼が忠實な素人天體觀測家であつた事實は鏡の質に對し有力な助けであつた。

スコフィールド氏カルバー八吋半鏡

焦點距離八十六吋 f 一〇で一八八八年の作である。裏面に *Graver T. L. 1888* のマークがある。我國に於ける唯一の

カルバー鏡であるが影及び帶試験を行ふ機會が無いのが残念である。測定を得れば直ちに公表したい。しかし眼視的にスタインハイルモノセントリック三一五倍で焦點内外像を調べた結果から言へば鏡形は單に良い、干渉像の中央の圓盤像の鋭さ等最良の屈折におおらない。プリズムを使つて居られるので正確には鏡形を語れないが習慣通り *Undercorrect* であるが收差は〇・一ミリ程度で明らかに存在する、遊星面は反射

鏡の常として實に鮮である。カルバー鏡として申し分無きものである。此の鏡の作られた時よりより良きバラボラを作る方法が發達し又た觀測結果から見てもカルバー氏晩年のものに良いものが多い。カルバー氏近年のものが此れより良いことは確である。さすれば三にかくカルバー鏡の像は甚だ良いものにはない。少なくとも五十年反射鏡製作に従事し今年九十歳でなほ元氣である。一九一八年以後に彼は二十四吋二個を完成した。一つはエスピニン氏二十四吋で一つはエデンバラのクラブ鏡の代りのものである。前者は特に二重星觀測に作られた空氣良き時には一〇〇〇倍を使つてゐる事や後者のデヴィス氏の試験の結果によつても腕は落ちて居ない。現今英國に於て反射鏡の優越なのもカルバー鏡が良かつた爲に言える。最良のカルバー鏡を見ずして反射の像實力を云々する事は出来ない下手な屈折は足許に及ばぬ、カルバー鏡が現今までに擧げ來つた結果は其の質を語るものである。反射を使用して屈折に優る成績を擧げる爲には高價ではあるがカルバー鏡は入用である。カルバーのマウンチングは英國流で堅固である。しかし老年の事であるから何時氏を失ふかも知れない。カルバー氏は屈折のクラーク氏に比すべきである。氏に代るべき人として小口徑にはエリソン氏を有する。エリソン氏の事は前に一度記した。鏡製作の技術はカルバー氏に殆んど差が無い。エリソン氏も大口徑のは試みた事が無く十二

吋が最大である。六吋半乃至八吋半位が最も巧な様で現在までに十二吋のまでもは殆んど百個はある。自分でも *he is a tough proposition even for a skilled hand* だ記して居り自用には十八吋カルバーを持つて居る。反射鏡の *figuring* 方法等には新しい方法を行ひ。過去に於ては双曲線鏡は磨き直さねば駄目だと言はれて居たが此れを直す方法を巧みに使つて居る。Refining は仲々得意である。自身は職業にして居るのでなく又觀測者であるので仲々反射鏡に關する事は深い經驗がある。年齢は六十位である。鏡を作るのに同氏は絶對的に器械を使はない。最良の反射鏡或はレンズは器械では出来ない。

エリソン氏鏡を希望される方があれば自分で喜んで取次ぎしたい。又器械部をも求めるなればエリソン氏より鏡を求めベーカーで作らせる事が出来る。ベーカーでは赤道儀も作る

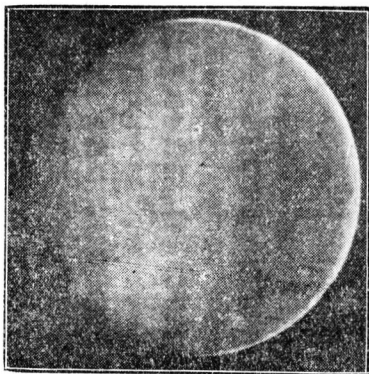
C. Baker 244, High Holborn, London, W. C. 1.

氏は又六吋までのレンズをも優秀なものを作る。熟練な *figuring* の腕を持つて居る氏は對物レンズの計算は單に色消の計算のみにて足り球面收差の計算の如き面倒なものは不要で四面をフィギュアする事を得る爲に球面收差を取るは反射鏡よりも樂である。稱して居る。

スコフィールド氏の意見では十吋以下なら現在ではカルバーよりエリソン鏡の方がよい様である。

64 0.00 +0.03 し測定ミ影の寫眞記錄に
 54 -0.09 -0.06 より更に分解すれば鏡面
 45 -0.08 -0.05 は三つの面の重ねたもの
 35 -0.06 -0.03 である。即ち六〇ミリよ
 13 +0.02 +0.05 り端までは完全な拋物線
 三二ミリより六〇ミリまでは僅かに灣曲半徑の短い殆ん正
 しい少しく Undercorrect された拋物線三二ミリより内側は殆
 ん完全な球形此の三つの曲線の入交つた鏡形で境界線も認
 められる。此れは三回に温度の異つた時にバラバラ化せられ
 た爲に考え得る。中央ミ端ミの焦點差から見れば僅かにコレ
 クションが足りないが小鏡で切られる中央の十八ミリを取る
 ミイメージでは僅かに双曲線ミいへる。焦點星像は完全で充
 分な分解力を有し通常の六時半の屈折よりすつミ良い。影の
 寫眞記錄を圖したが前に述べた二つの階段の外に鍍銀面の不
 規則な事を示して居る。硝子面の凸凹もあるが極く微量で何
 れも像に及ぼす影響は〇である。正しい鏡形は眼視影では殆
 んミ分からなかつたが寫眞的に明瞭に分明された。此の結果
 はエリソン氏の技術を更に確めるものである。鏡面は眼視的
 に完全な拋物線であるが寫眞によつて僅かに其の缺點を指摘
 し得る。即ち試験は不必要に精密である。寫眞に現れたる不
 規則は表面の百萬分の一以下以下の誤差である。全體として銀
 が磨の際に一樣に磨かれてない又、銀が柔かい様である。

影の寫眞。ピンホール〇・六ミリヤイ三號電池二個、ダゴール二一
 センチにてイ・フオード赤露出五分、引延し。



大坪氏鏡影の寫眞

森下氏エリソン四時半鏡 焦點距離一二〇五ミリ
 測定者 筆者 一九二四年七月十二日夜

r	r ² R	49=0	測定	49mm=0	差	1 4	收差
49	1.00	0.00	14.87	0.00	0.00	0.00	-0.10 ミリ
36	0.63	0.37	15.20	-0.33	+0.70	+0.18	+0.08
32	0.43	0.57	15.47	-0.60	+1.17	+0.29	+0.19
22	0.20	0.80	14.20	+0.67	+0.13	+0.03	-0.07
12	0.06	0.94	13.38	+1.49	-0.55	-0.14	-0.28

測定を正しいとして影の試験と共に判斷すれば鏡形は拋物線として
 はよくないけれどもF一〇・八であるから像はよい。鏡形はかう見

ればよい三二ミリまで著しい双曲線で其れから Turn up して居ることを考えられる。製作時に隋圓鏡のまゝでパラボラ化したことを考えられる。端の方が少し悪い事は影では見えだが F 一一に近いので殆んど影らしいものは見えない。影では反つて銀の厚さが不規則に分布されて居るのがよく見えた。セルのまゝなのと F 一一であるので結果は餘り信用は出来ない。エリソン氏は端と中央の差だけでパラボラ化するのだから中間の誤に氣付なかつたのであらう。又少し双曲線であるのは長焦點鏡の共通の習慣である。F 一〇以上で口径が小さいのは熟練者も試験が困難なのでよいものは作れない。

F 一一では良好なる鏡形である。最大集合像の直径は一・七秒かは Good である。接近せる重星の観測は事實少々困難である。三〇〇の倍率は充分使える。接近せる重星以外同口径の屈折だけは確かに見える。銀を去りセルより出して再測定すれば幾分差は出ると思ふ。鏡セルの鏡の下には圓形の木と鏡の木の間にラシャ一枚鏡の周りはアルミニウムである。測定せる結果と反射鏡が屋外で使はれる事を考えると温度が下降しつゝある時には像の爲には非常に良い構造である。器械部及びアイピスは前有者スコフィールド氏の注文でペーカーで作つたものである。倍率は四八、九五、一四三、一九〇二四〇で二四〇は充分使える。エリソン鏡を三個研究した。何れも良好であり、又端に誤を認めない。エリソン鏡が優良なる事に疑は無い。

スコフィールド氏アノヴィング六吋半

F 8 の鏡で一九二〇年の作である。銀の無い鏡で接眼鏡で試験したのであるし影及び帶試験を得ないので斷言し兼ねる

が少々双曲線である×二〇〇で像は良い。諸氏の觀測報告を見てカルバー氏はぎのものは無い様であるが相等な成績を擧げて居る。決して悪くはない。素人用として適當である。アノヴィング反射望遠鏡の筒やスタンドは簡單に巧みに出来て居り實用上差支之ないがしかしカルバー程丈夫でない。値の點も考えれば確かに廉價である。最近に氏は反射鏡の新試験法を見出したを傳へられる。

京大天文臺ブラシア十吋反射鏡

時計の良い事や赤道儀である等器械部は最も完備して居る。鏡は特に F 5 に近い一三七五ミリで寫眞に使ふのが主たる目的である。自分が此の鏡を見て特に感じる事は非常に磨が完全で空氣泡が端に一つひつかつた外何一つ虫目鏡でも傷が無い。ブラシアの鏡やレンズの磨きの完全なのは美しい持點である。彼のヴィクトリア七十二吋は何一つ傷がないそうだ。

鏡はブラシア氏で無く多分マクドエル氏と思ふ。裏面には何もマークは無い。短焦點なる故端の測定困難。

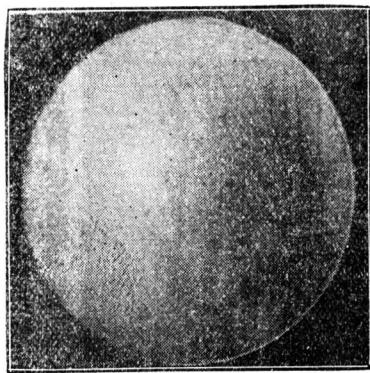
r	1162.90	定跡	輕度の双曲線であるが測定及び寫眞で見れば極めて平坦な面である。寫眞試験によつて
116mm	0.00		
88	0.32		
63	0.64		も形は少しく双曲線である事を示して居る。又寫眞で鏡の
38	1.089		

端半センチばかり少しく Turn down して居る。收差から見れば甚だ良い鏡は言はれないが F 5 である事を考えれば一様なカーブで此れだけの鏡形を作つた事は一流の製作所だけある。自分は此の鏡に最も親しいので此の收差を少し詳細に論じたい。試験は鏡の温度が下降しつゝある時に行つたのであるから眞の收差は此れより小さい。又巧みにセルの構造で良い像を得て居る。硝子径は十吋以上で口径は正しく十吋で端のターンダウンは除かれて居る。次に鏡セルの中央に徑七吋の穴がある。此の穴一つの爲に端の焦點が短くなつて都合のよい時には平均焦點より中央が〇・二ミリ位まで收差が減する。夕方には常により強く双曲線になる傾向があり朝観測を始める時に極めて良い像である。又眼視兼用であるが高倍率観測を行はないので星像は充分鋭い。又フィゲンスアイピースによつて收差は殆んど〇に見える。遊星を見る時には鏡形及空氣の爲に六吋半の絞りを使へば像のデ・イルは七時ミ差がない。F 5 の鏡で高倍率観測を試みるのは無謀である。

F 5 の鏡は高價である、そして良いものは出来ぬ。十吋の像は完全に鋭くないが決して悪いとは言はれぬ。

ブラシアーは寫眞鏡は巧であるか眼視鏡で遊星方面に使はれた事は殆んど知らない。ブラシアーの反射鏡赤道儀は實用上申し分の無い程度まで完備して居る。しかし米國の氣候上英國の鏡は湿氣に對する注意が足らぬ様に思ふ。十吋は F

5 の鏡にして良き鏡である。作られた目的には完全である。影の寫眞 極めて平坦な面である。下の異常影は鏡が立てられた爲に歪んだ結果である。第三圖^b及び^cと比較せられよ。輕度の双曲線である。



フィゲンス〇・二吋二百七十倍でアンドロメダ座¹² 八吋試験星は充分分離される。此れは鏡の平坦なる事を示す。

ブラシアー社のマクドエル及びヘーチマン氏の最後のタツチによつて完成されたヴィクトリア七十二吋はベスト鏡の一つと言はれて居るが次の如き收差である。

r	收差	23	+0.01	1.62
35吋	-0.11 ミリ	0.00	21	+0.05
33	+0.02	+0.22	19	+0.24
				1.94

一行目の収差は温度の平均した時、二行目のは温度差だけで現れた収差で實に著しい。大口徑反射鏡では温度の調節が極めて重要である。

第一行の収差で最大のは十九吋帶の〇・二四ミリで鏡面の誤差にして僅か八分の一波長である。七十二吋の大口徑としては極めてよい形である。眼視用にするとしても千倍以上使はないから確かに良い。甚だ銳いとは稱せられな。

鏡形は僅かに Undercorrect である。此の鏡は中央に徑十吋の穴がありカセグレンに主として使はれる。

スタインハイル社

オックスフォード天文臺所有 スタインハイル十三吋

焦點距離一一〇八・七五吋 測定者 デヴィス氏。

r	$\frac{r^2}{R}$	測定	差	mm	$\frac{1}{4}$	平均焦點より
5.5吋	0.009	.000	.000	— .00	— .00	+0.10mm
4.5	.042	.05	— .008	— .20	— .05	+0.05
3.5	.075	.09	— 0.015	— .38	— .10	0.00
2.5	.1	.19	— 0.09	— 2.28	— .56	— 0.46
1.5	.117	.195	— 0.07	— 1.98	— .50	— 0.40

鏡は明らかに双曲線でしかも不規則である。二・五吋の帶で急に

減のりこんで測定に見るが如く、中央部は球形であつて又端に深い Tundown がある。F 九の鏡としてはまづい出来でデヴィス氏による The mirror is, on the whole, rather a poor one. である。第三圖は此の鏡の影で二つの階段があり前にのべた誤がよく表れて居る。レンズでも反射鏡でもスタインハイルには甚だ悪いものは無いが餘りよいものも無い。

大坪氏の新望遠鏡

鳥取市の大坪氏は最近に有力なる望遠鏡を備へ付けられた。一つは英國エリソン氏作の六吋半反射鏡で此れは時計付きの赤道儀にされる由。鏡は極めて優秀である。他は英オットー社特製の四吋レンズである。

御 知 ら せ

英アーヴィン氏より詳細なる五吋乃至十二吋 反射鏡とアイピース平面鏡等の價格表及び二三の寫眞が着きました。詳細入用の方は小生まで 天文臺 申付。