

反射望遠鏡の智識 (14)

京都帝大天文臺 中 村 要

鏡形と温度變化の關係

鏡形と温度變化

硝子は可なり大きな膨脹係數を持つて居る。一年を通じて温度變化を受けるが此れは焦點距離に變化を及ぼすのみであるから像の觀察に影響がない。硝子材が均質でない場合には多少の異狀が起るかも知れないが良質の硝子を選べば此の心配はない。此の例は耳にしない。

硝子は熱の傳達がよくない。外周の温度が急激に變つた場合に硝子は一様に温度を變へる事が出来ない。此の爲に焦點距離も變るが鏡形も變動を受ける。即ち拋物線が拋物線でなくなる。當然像にも影響を受ける。先づ製造者が日常見受ける現象について觀察すれば研磨後直ちに検査すれば硝子表面が冷却する爲に急激に修正量が減少する。恒温室なれば一定の修正量で停止するが温度變化の多い室では修正量が常に變動する。従つて拋物線か否か判斷を下し得ない。此れが製造上の難關の一つである事は經驗のあるものはよく心得て居る。硝子の質によつては逆の變化を示すものもあるが、比較的少い。サンゴバン硝子が變化が最も著しい。

修正量に對する研究は、先づワッセル Wassel によつて發表せられた。正しい修正量の拋物線より多少負修正の鏡の方が良好であつて其の修正量を全修正量の三分ノ二乃至四分ノ三、が適當であると言つて居る。(エリソンによる多少負修正が過ぎる)。又カルザーによる有名なウイスの鏡は多少負修正の鏡が多いといふ事であり、一般に正しい拋物線よりも多少負修正のものが像がよい事は知れて居た。又或る人は拋物線が完全な像を與えない事を理論的に求めようこゝを試みた事もある。然し始めて詳細な研究を發表したのはエリソン(1914年)であつて數年間の實驗觀察から以上の原因が温度にある事を認めた。

以後度々論争があつたが、1925 年より 1926 年にかけて約一年間、English

mechanics 誌上に現れたエリソン對ヒンドルの論争が其の一部の結末をつけた様である。筆者は自らの研究に基いて以後の記事を進めたい。

エリソンによれば温度が降れば鏡面は双曲線になる。種々の條件で補正を行ふには鏡面修正量を計算の 0.8 の點におき僅かに負修正を保てば適當であつて此れ以上論じて居ない。E.M. 誌上、及び Amateurs telescope に強く主張して居る。古い記事には 0.02 吋、負修正にすべき事を述べて居る。セル(鏡の金具)の中央の穴には何も言及して居ないが多分存在しないものと思ふ。

故カルザーは此れについて何も書残して居ないので知つて居たか居なかつたか明瞭でないが一貫した型式で拋物線を故意に外して居る即ち鏡端を負修正にして居るが修正量は 1.0 乃至 1.1 でエリソンとは型式が異つて居る。

以上の問題については誤解が起り易い。即ち夏と冬とで鏡形が異なる事を論じて居るかの様に考へられ易い。最初書いた様に温度によつて拋物線たる事に差はない。温度が高い低いの論でなく、温度が降りつゝある、又昇りつゝある變化中の、現象であるから誤解の無い様にしてほしい。

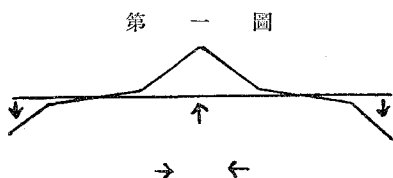
變化の様子

一通り事實について種々の實驗をして見よう。暗室内で温度をかへて實驗も出来るが、最も良いのは夜間望遠鏡として組合せた後焦點内外像によつて變化を追及する事であり、星像試験の必要も此の點にある。

先づ室内で硝子面をニュートン環によつて試みる。硝子裏面の中央を温めると裏面の膨脹の爲に表面は部分的に凹になる。端を温めれば端は高くなる。此れ以外加熱冷却等の原因による部分的の變化が知れる。表面から熱せられる時は裏面と逆の結果を起す事が知れる。

球面鏡に鍍銀して、裏面近くでブンゼン燈で温めると、急激に焦點距離が短くなるが、此れに反して表面から温めては殆んど何等の變化もない。鏡面が鍍銀されて居ると表面の原因では變らずに裏面及側面の加熱及び冷却で變化する事が分る。夜間望遠鏡として考へる時には普通曉天まで温度は下降するから温度下降の場合のみを考へてよく、硝子のみの變化に加へ

てセルの構造をも考へなければならぬ。



金屬製のセルを備へた反射望遠鏡を暖い室から突然屋外に出して直ちに焦點内外像を検査する。良好な拋物線鏡なれば焦點内像の外周は、著しく不明瞭で、焦點外像は明瞭であ

る。又斜鏡の影は内像では甚だ著しいが外像では、不明瞭で鏡面が強いターナダウンのある双曲線になる事が知れる。室内外の温度の差で變化は一定した量ではなく毎夜異つて見える。所が約一時間觀察を續けるに、焦點内の外周が漸次に鮮明になり、斜鏡の影の部分が内外共よくなつて、或る時間後には焦點内外で對稱或は對稱に近い像が出来る。5 ミリ位の接眼レンズで此の觀察をすれば變化が如何に大きなものであるかが知れる。11センチ鏡以下では約10分でよくなるが、15センチ鏡では約半時間、20センチ鏡では一時間、30センチ鏡では數時間を要する。

次のハルトマン検査の例から見ても屋外に出した時に温度下降による變化は、先づ端がターナダウンする事であつて、次は斜鏡の周圍に山が出来る事である。中央に出来る山はセルの中央の穴に著しい關係を持つて居り、穴の徑の大小鏡裏の敷紙等によつて影響される。鏡裏の穴は無いよりもあつた方が温度補正を行つた面には適當で、カルパー、ブラシアー等の反射望遠鏡には鏡徑の二分ノ一以上の穴が作つてある。

焦點距離の變化は像の觀察に直接の影響がない。鏡形變化に、最も著しいのは端がターナダウンする事であつてリツチーは此れを Edge effect と呼んでゐる。井ルソン山天文臺では寫眞用にさえ 100吋徑のものを、80吋近く絞つて使つて居る事が少なくない。完成した鏡にターナダウンのある事が思はしくないのも主として此の原因である。實用上 U 3 型の平坦な整形面のものが最も結果がよい。191 頁の測定例の様な傾向の或る收差があるものが反つてよいので帶試験のみに頼つて收差 0 のものが必らずしもよくない理由も見出されるのである。

鏡形變化の例

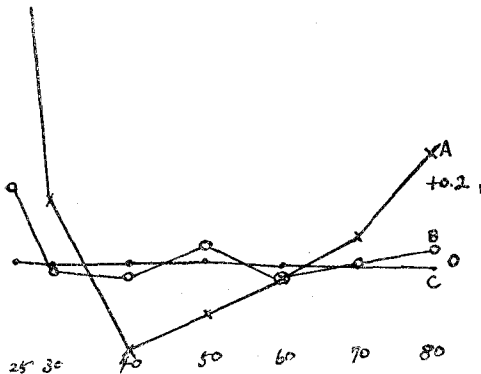
筆者が自有のエリソン鏡と同焦点に作った 165 ミリ鏡を例にみて見よう。最初理論的拋物線に出来るだけ近く修正した。

γ	$\frac{\gamma^2}{R}$	測定	収差	
80	-0.24	-0.34	+0.03	僅かに双曲線であるが可なり良い。然し星像
76	0.00	0.00	0.00	は極めて失望すべきものであつた。内像の周囲
67	0.54	0.59	-0.01	には毛は出ないが不鮮明である。焦点内外像の
59	0.97	1.10	-0.01	干渉像は冷却後極めて平坦な面を示して居る。
49	1.42	1.49	-0.01	然し、星像は落第であつた。次に端が負修正の
39	1.79	1.71	+0.02	補正面に修正して現在使用して居る。即ち完全
30	2.04	1.95	+0.02	な拋物線鏡が使用して完全には働かないのであ
20	2.25	2.18	+0.02	つた。
10	2.38	2.38	+0.00	

単位ミリ

次に筆者所持の 165 ミリ f 7 のエリソン鏡のハルトマン検査 (寫真で行つた帶試験) の結果をあける。

第 二 圖



γ	A	B	C
25	+1.77	+0.24	+0.04
30	+0.20	+0.01	+0.03
40	-0.20	-0.01	+0.02
50	-0.11	+0.04	+0.02
60	-0.03	-0.03	0.00
70	+0.07	-0.00	-0.01
80	+0.28	+0.03	-0.02

単位ミリ

A は望遠鏡を屋外に出して五分後の測定で端がターンダウンし中央に著しい山が発生し、全面をみて、暗室内の修正量をして約 1.5 ミリに近い過修正の双曲線になつて居る。B は約 40 分後冷却をほぼ終つてからの測定で殆んど原状に復し中央の山だけ著しい。AB には測定上止むを得ない 0.04 ミリ位の誤差がある。C は暗室内の測定であつて明らかに多少負修正 U3 型の鏡面である。

A の測定による鏡の中央は部分的に負修正、端は過修正であつて、た

だ焦點内外像の斜鏡の穴のみで判断するに負修正になつた様に見えて分かりにくい。温度下降が負修正を起すといふ反對の説は此の點の誤解ではなからうか？

補正の方法

冷却による鏡形の變化を知つたのであるから、變化の逆に鏡形に補正を加へておく事が念頭に起る、カルパー、エリソン、スレード等の著名の製造家は各々の研究に基いて補正を行つて居る。此れは理論よりも寧ろ星像検査によつて最も良い型式を選ぶのが良い様に思ふのである。使用の條件によつて著しく異つた像を示すのであるから、例へば使用を始めた時、夜間を通じて、或は其の中間の様に種々の條件に對して補正するのであるから製作者によつて考も異ふ。セルの構造、硝子徑、硝子の厚さ、性質、焦點比、使用箇所及び方法等によつて異つた取扱を要する。恐らく凹面鏡製作の技術上、此れ程複雑な且つ興味の多い問題はない。

夕方望遠鏡を屋外に出して直ちに受ける温度の急激な落下は餘りに量が多いから此れに對して補正すれば鏡端を偏球にしてもよい。然し此れは餘りに極端であつて一般には夜間を通じて平均に於て最も良い像を示す様に出来れば理想的であるだらう。如何なる方法がよいか？

補正の簡單な方法としてはエリソンに従つて鏡を負修正に作り、修正量を約 0.5 ミリ少なく、全修正量の 0.8 の點に修正するのも一案であつて、修正量が 0.6 であつても可なりよく修正されたを考へてよい。自分は他の鏡を批評するのに修正量が 0.6 乃至 1.2 のものを拋物線化された及第品として扱つて居る。

更に完全であると思ふのは鏡面の端を負修正にして前號の U3 型の整形面、即ち筆者がカルパー型の整形面と呼んで居るものに整形するのである。

以上の二案にはセルの構造を考慮しなければならぬが、筆者は初期のものを除いて大部分は後者を探つて居る。然し實際上其の能率上の差は極めて少ない。次に一つの例を記する。筆者の自作鏡の一つであるが比較的結果の良かった一例である。此の整形面を負修正鏡の差のあるのは鏡の中央であるから焦點内外像の斜鏡の外周の現れ方に僅かに差があるのみで収差

量としては僅かな差である。

15センチ鏡 F135センチ

γ	$\frac{\gamma^2}{R}$	測定	収差
69	0.00	0.00	-0.02
59	0.48	0.27	+0.03
50	0.81	0.65	+0.03
40	1.18	1.07	+0.01
30	1.44	1.57	-0.05
19	1.64	1.72	-0.04

単位ミリ

此の整形の要點は鏡面が平坦で修正量が正確に行はれて居なければ役に立たないし、又ターндаウンが存在しても無効である。要するにターндаウンが最も有害であるから極力除去を要する。

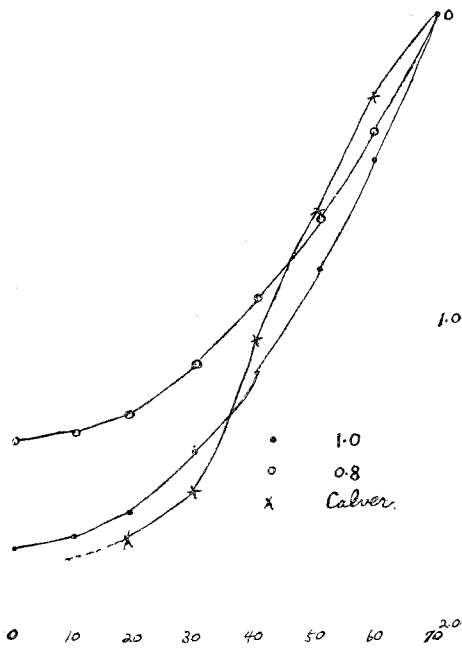
鏡徑に關しては、10センチ以下のものでは殆んど補正の必要なく8センチ鏡になれば最も正確な拋物線面に作つておいてよい。通常13センチ以上には充分結果が現れるが、30センチ鏡以上になると變化が大き過ぎるので補正の條件が異つてよいはずである。

硝子は厚い方が變化を受け難い。薄い硝子は強く狂ふが比較的早く冷却を終る。鏡徑の六分の一の厚さが最もよい。薄い硝子には普通より端を球面近く作つておく方が安全である。

焦點比に關しては實際の經驗上條件が多い。長焦點程補正を強くすることは必要である様であるし f 6 より短いものでは極めて拋物線近く修正を要する。長焦點と同じ考で作るに著しい負修正の像が見える事が多い。

露天で使ふものゝ、圓屋根（ドーム）等の室内で使ふものゝは、前者の

第 三 圖



方が強く影響せられるのであつて、30センチ鏡以上では露天で使つては完全に對稱的な像が出来ないといつてよからう。

最後に變化を少なくする保護方法としてはセルの構造にもよるが、晝間鏡の加熱をさけ夜間における急激な變化を避けるのが安全である。大口徑になるセルの周圍に白ペンキを塗つて熱を防ぐ事が出来る。餘り急激に溫度が變るのも或は人爲的に餘り保護するもよくない様である。

反射望遠鏡が口徑だけの鋭い像が出来るのは、即ち眼視用として反射望遠鏡が屋外で完全に使えるのは25センチ以下であつて、以上になれば觀測室の設備がないと良い像は望み難い。

筆者は自己のみの實驗では解決を得難い事を知つて、以後主としてカルバー鏡によつて整形上の考を得たのである。然し鏡を作る毎に實驗を試み星像検査によつて像の變化が製作前に作りたいと豫想して居たもの一致し得るや否やといふ點に興味をもつて實驗を進めて居るので考は未だ確定したわけではない。多少進んだ素人諸氏は個人の狀況に應じて研究せられん事を希望しておく。

太陽觀測に使ふ時には逆に鏡面を双曲線にしておく方が結果がよいといふ考を持つ人もあるが太陽用のものは小口徑しか使はないから鍍銀なしでも修正量を1.2以上にする必要はあるまいと思ふ。又鍍銀した面であれば表面から熱は來ず外氣によつてセルが温り鏡が温まるので完全な正規面の拋物線に作れば事足りる事と思ふ。

以上の溫度補正は整形上相當の熟練を要し、初心の素人には實行不可能に近い。殊に星像検査を併用して行はねばならぬから餘りに難問題である。従つて初步のものは單に正しい拋物線を作る事を目標とすればよい事を述べておきたい。筆者の意圖はかような補正が熟練家によつて行はれて居る事を示し多少機密事項にふれたのである。

對物レンズでも反射鏡に比すればやゝ少ないが、同じ様に溫度變化によつて球面收差が現れ、對物レンズの最後の修正に種々面倒な事を起すものである。

屈折反射兩式とも屋外に持出して半時間乃至一時間は、鏡や筒が冷却を終るまで像は完全でなく、望遠鏡の能率を充分に發揮し得ない。此れからあこは鏡面さへ相當に出來て居れば、鏡の多少の良否にかゝわらず可なり見えるものである。見える、見えないは大部分使用する技術に關するものである。