反射望遠鏡の智識（9）

中　村　　要

檢査の原理

フーコー試驗の鋭敏さ

影試驗法では點を鋭利な小刀の刄で分解するこ同樣であるから，其の敏感さは驚くべきものである．例へば15センチ f8 鏡で球面こ拋物線の差は1ミリの三千分の一に過ぎないが容易に判斷出來る．又5センチ f15 の小反射鏡の拋物線は僅かに一ミリの七萬分ノ一より球面こ差がない卽ち僅かに四十分ノ一波長であるが少なくこも此の數分ノ一の微量まで判斷出來る光の干涉によるニユートン輪の檢査ではほゞ四萬分ノ一ミリが極度であるに比して，數倍鋭敏である．ニユートン輪の檢査は影に比し甚だ物足りない感じがする．此の程度まで正確に判斷するには最も熟練を要するが整形には如何に微量まで取扱ふかを念頭においてほしい．

例へば一例こして，數秒間鏡の一點に指頭をおいて直ちに檢査すれば鏡面に明瞭な山の發生する事が見得る．又檢査室內に僅かの氣流があつても其の爲に判斷が下し得ない程の氣流が見得るをもつても知り得る．

フーコー試驗は此れ程鋭敏なもので球面に極めて近い表面の誤差をよく示すけれごも，此の程度が直接判斷出來ない．素人はフーコー試驗に極めて迷はされ易い．單に目の判斷に訴える爲に，此の活用には最も深い熟練こ經驗を要する．

接眼レンズによる檢査

球心に於て，小刀による檢査の外，接眼レンズによる檢査も可なり有用である．殊に初心の素人で影が判斷出來ない場合には，しばしば有用である．人工星の像を接眼レンズで調べる．人工星は針孔の成るべく小さい明るいものがよい．又接眼レンズも成るべく色消で球面收差の無いものが必要である．言ふまでもなく球心に於て最も鋭い像の出來るのは球面である．事實上正しい球面になれば，眞暗い視野内に，人工星を接眼レンズで見たこ等しい鮮明な像が出來る．此の像の焦點内外像で可なりの判斷が下せる．

1. 焦點内外像は何れも眞圓でなければならぬ．殊に薄い硝子はアスチグマチズムの檢査が重要である．アスチグマチズムがあれば焦點内外像が延長し，焦點内外で方向が直角である．若し見付かれば鏡を廻轉すれば其の所在が判明する。凹面鏡であるから，光軸を離れる程焦點内像は垂直，外像で水平の方向に延長する傾向がある事は留意を要する．

2. 人工星の像の周りに著しく光が散亂し，視野が明るくなつた場合には通常ターンダウンの存在を示す．ターンダウンがあれば焦點外像の周りは明確であるが，内像の周りは外像程鮮明でない．

3. 正しい球面であれば焦點内外像は正しく對稱的である．

4. 偏球の場合には焦點像は多少不鮮明であつて焦點外でも人工星の像が見える．

5. 双曲線であれば焦點内でも人工星の像が光線中に見える．

6. 拋物線は感知し得べき程度双曲線こ類た外觀で，焦點像は餘り鋭くない．

接眼レンズによる檢査は通常，アスチグマチズムこ，ターンダウン以外余り有用でないが素人には次の注意が必要である．

鏡が餘り良くない事は分かつて居る場合，球面近く，實用上見える鏡を作るには人工星が出來る限り鮮明に見得る樣に直せばよいのであつて，不良鏡面では人工星の像さえ分からないから，此の試驗は星像による檢査こ餘り差の無いものこ考えてよい．卽ち人工星の形が不明瞭であれば星像も似た樣なものであるこ思つてよい．

圓錐曲線と鏡形

凹或は凸面は外觀上球の一部であるが，光學上嚴重に言へば正しい球面は稀らしい．例へばレンズの表面は球面であるこ假定して計算せられるけれども，光學面こして絕對球面であるこ言ひ得るものは極めて稀である．偏球或は双曲線何れにか外れて居る．殊に反射望遠鏡に於ては製造時には球面を扱ふが，完成時には拋物線を作るのであるから，其の曲線の性質をよく心得ておきたい．大抵の素人は凹面鏡は卽ち凹球面こ考えて，球面は，容易に作り得る樣に考えて居るが，實際上最も著しい强い双曲線が普通である．鏡面曲線に共通の性質こして，其の表面は廻轉表面であるが平旦な面は圓錐曲線になつて居る．規準は常に球面におくのである．圓錐曲線の性質は數學書にゆづつて，製作上必要な智識を述べよう．

鏡面に表れる單純な面は次の樣に分けられる．

1. 偏球 Oblate sphere 隋圓の短軸を軸こして廻轉した表面であつて焦點距離は鏡の端に至るに從つて短かい．偏球には一定の限度がない．

2. 球面 Sphere 球面は球の一部であつて常に規準こなるもので，一定の性質をもつて居る．

3. 隋圓 Ellipse 球面こ拋物線の中間の曲線で卽ち隋圓の長軸を軸こして廻轉して得た面である．一定の範圍をもつて居る．

4. 拋物線 Parabola 拋物線は數學的に定つた面であつて，口徑焦點距離に從つて一定の性質を持つて居る．或る拋物線鏡には拋物線の範圍はない．

5. 双曲線 Hyperbola 拋物線より僅か鏡の中央が深くなつたものでも双曲線こして區別する．最も甚だしい双曲線まで程度の制限はない，

6. 圓錐 双曲線の最も猛烈なものは圓錐こいつてよい．素人の鏡には圓錐こいつて差支えない樣なものがある．

7. 漏斗形，平面に近い面には，此の面が出來る事がある．

通常其の程度を表はすに球面こ拋物線の差の何倍の双曲線の樣に表はす．

或る光學表面に修正する事を整形 Figuring こ呼ぶ又球面から拋物線に直す事を修正 Correction こ呼び，球面こ拋物線の差を修正量 Amount of Correction こ呼ぶのである．

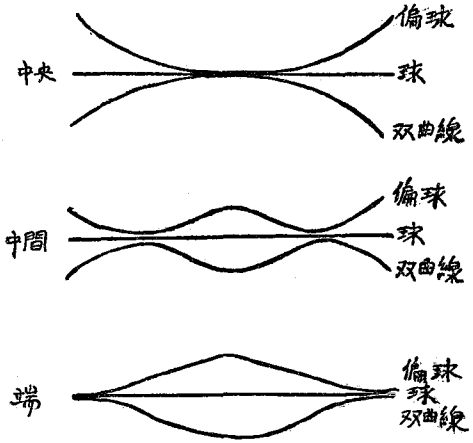
從つて隋圓鏡は負修正鏡Undercorrected mirror 及び雙曲線鏡は過修正鏡

Overcorrected mirror である．英國で或る時，偏球鏡は未修正鏡 Uncorrected mirror であるこいふ議論もあつたが像の上から負修正鏡こいつた方が良いのであろう．

球面が規準になるから影は偏球鏡及び修正ある鏡に分かれる．卽ち隋圓拋物線及び雙曲線は影の形狀は同じであるが濃度に差があるのみである．

整形には通常鏡の端を規準こして行ふのであつて，球心に於けるフーコー試驗の規準點卽ち球面この差を見るのである．

鏡の端を規準こして見た面の偏球及曲雙線(拋物線及び隋圓を含む)は圖の如く



球面は平面であるが偏球は中央に山があり，拋物線は中央に穴がある．

又鏡の中間を規準こした差は

球面は平面であるが偏球は端及び中央に山があり，雙曲線は端及び中間が下つて居る．

又鏡の中央を規準こすれば

球面は平面であるが偏球は端に山があり，雙曲線は端が下つて居る．

此の差は球面こ各曲線の差であるのみならず，フーコー試驗に於ける各曲線の實狀を現はす，卽ち小刀の位置が異る每に小刀こ鏡面までの半徑ある球面こ鏡面の曲線の差を見る事が出來るのである．卽ち影には一定の型はあるが形狀及び位置は，小刀の位置によつて異る事を知り得るのである．

影の立體

フーコー試驗によつて表面を肉眼で見る．表面が完全な球面であれば光が一樣に消失して面は平面に見える，然し表面が球面でなければ光が一部分殘つて影が出來る．此の時に表面は眼視的に平旦でない．影の爲に表面

が一つの立體になつて見える．此れは理屈でない實際上の外觀である．此の立體の形が如何なるものかと言えば此れは實際上實物を見なければ分からないが此の斷面は207頁の球面と差を書いたと同樣な形になる，

逆に影の出來る位置及び形は此の立體の右から（卽ち小刀の反對の方向から）光線が投ぜられたと同じ形狀である．卽ち左下りの面には影が出來，右下りの面には光斑が出來る．此の原理によつて影から立體を書けば表面の實狀が知り得るのである．

表面が立體に見える事は熟練者にとつては何でもない事であるが初心者は此の點に非常に迷ふ事が多く表面が立體として見えない．

右眼を使ふ人は，小刀は左にあつて，左より右に動かせる．然し人の習慣によつて種々の位置がある，故カルヴーは小刀を右より左に動かした．又エリソンは人工星を左，小刀を右にして，右から左に小刀を動かして居る．影の出來る理由で分かる通り，小刀が右から左に動けば影の出來る位置は鏡面で左右反對になる．然し立體の形は同一である．

デヴイス氏は立體の形を全然逆に畫いて居るが大多數の作業者の經驗では筆者の樣に見える．

帶試驗 Zone testing

帶試驗は鏡面を中央よりの距離によつて分割して行ふ數値的な檢査法である．ドレーパーが最初に行ひ英のワツセルによつて完成せられ，コンモン，リツチー氏の改良を經て1908年デヴイス Davies 氏によつてまとめられた方法である，筆者の方法は主としてデヴイス氏による所が多い．

拋物線鏡は球心に於て收差がある．卽ち鏡の中心より端に到るに從つて焦點距離が長くなつて居る．今人工星が固定して居れば此の收差は數式で表せば，中央の焦點距離は明らかに球面半徑である．

γ 鏡の中心よりの距離

R 球面半徑

a 收差 Aberration

$$a=\frac{\gamma^2}{R}+\frac{\gamma^4}{2R^3}=\frac{\gamma^2}{R}+\left(\frac{\gamma^2}{R}\right)^2\times\frac{1}{2R}$$

第二項は口徑30センチ f4 のものでも計算の必要がない位微量のものであるから，大口徑鏡には計算を要するが小口徑には無視してよい．從つて通常

$$a=\frac{r^2}{R}$$

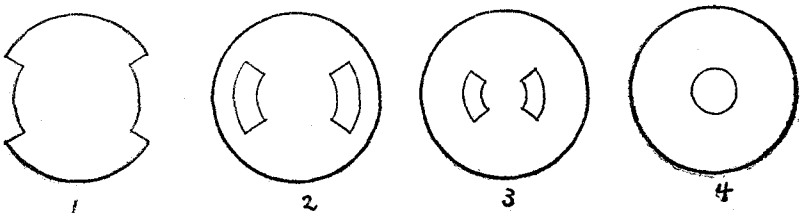
なる簡單な公式でよいのである．

鏡は全面開放しておいては此の測定は出來ないから帶板 (Zone plate) を作つて實測値と計算値を比較して表面を判斷するのである．鏡の中央から等距離にある輪を考へて此れを帶 Zone と呼ぶ．此の帶は成るべく數が多い方がよい．檢査の目的によつて二個乃至十個を使ふ，詳細に檢査する爲には最小限七箇必要である．整形上中央と端の焦點差を見る爲には二個，中間を共に調べる爲には三個．鏡面の大體の傾向を見るには四箇が便利である．

帶板は厚い畫紙を切つて作る．11センチ鏡四個の場合には次の樣に切る．鏡面は中央からの距離で四つに分けて帶板は外徑と內徑の平均，卽ち穴の中間を帶の半徑とする．穴の開きの角度は通常60度が適當である．巾は測定に便利な樣に選ぶのであるが，狹過ぎては測りにくゝ廣過ぎては不正確になる．卽ち短焦點鏡では狹く長焦點鏡では廣い方がよい先づ通常20ミリと考えてよい．口徑及び焦點距離，卽ち修正量によつて帶の巾を定める．例えば f3 鏡等では數ミリでよい．球心から見た鏡面及び帶の巾の視角によつて適當なものを定める．

	外徑	內徑	平均
A	55	45	50
B	45	27	36
C	27	9	18
D	18	0	9 ミリ

二個は A と CD の中間
三個は二個の中間に一個を加ふ
七個は各中間に一個づゝ



焦點決定方法

昔は接眼レンズによつて決定して居たが，接眼レンズの球面收差やヂフラクシオン現象及び人間の目の焦點が固定でない等の爲に測定が困難であるから近年は總て小刀で決定する．卽ち左右の光線が同時に同じ强さに消失する點，卽焦點を求めるのである．小刀によれば鏡面の缺點以外何物も加えられない特點がある．

焦點を測る場合孔より消失した光線以外に孔の周が細い光線で示される此れは光のヂフラクシオンによる現象である．焦點決定は可なり困難である．未熟の間は，數回の測定の開きが一ミリ或は以上になつて，甚だ信用し難いものになる．然し多少の熟練によつて最大差が0.2ミリに近く自ら可なり信用してよいものになる．然し平均値は0.1ミリ以下は信用出來ない．

球心からの視角の最も廣い端が最も容易で，中央に至るに從つて困難である．端は割合に定めにくい．殊にターンダウンある場合甚だ疑はしく帶の內徑近くの焦點を測り易い．測定は帶の巾だけの部分を球面ニ見て測るのであるから，若し部分的に階段，穴等の不規則な帶があれば測定も困難であり，結果も平均で表はされるから疑はしい．狀況に從つて帶の位置，巾に特殊の取扱ひを要する．測定自身に甚だ惑はされ易いから，影の判斷を常に念頭におく必要がある．

測定は一帶につき三回乃至五回，檢査臺の移動，溫度變化による焦點距離の變化等には充分の注意を要する．

測定の計算は次の樣に行ふ．鏡は筆者の見た素人の最も良いもので素人

番號	γ	$\frac{\gamma^2}{R}$	68=0	測定	差	$\frac{1}{4}$	收差
(E_2	73	2.23	−0.30	−1.9	+1.6+	+0.4	+0.36)
(E_1	70	2.04	−0.11	−0.55	+0.43	+0.11	+0.07)
1	68	1.93	0.00	0.00	0.00	0.00	+0.04
1b	60	1.51	0.42	0.36	+0.06	0,02	−0.04
2	50	1.04	0.89	0.83	+0.06	0.02	−0.02
2b	38	0.60	1.33	1.06	+0.17	0.04	0.00
3	30	0.38	1.55	0.73	+0.82	0.21	+0.17
3b	22	0.20	1.73	0.97	+0.76	0.19	+0.15
4	10	0.04	1.89	1.07	+0.82	0.21	+0.17

こしては甚だ良いものである．口徑は150ミリ，焦點距離は240センチである．影でターンダウンを認めたので特別な取扱をした．即ち1.2.3.4の四帶こ中間に b 帶をおき，1を標準こして E_1 及び E_2 の特別帶をターンダウンの爲に備えた．1乃至4帶を見て頂きたい．先づ γ（帶半徑)に從つて γ^2/R を計算して第三行に書き，次に1帶を0こして，順序をかえたのが第四行である．第五行は1帶を0こした測定である．第六行は計算實測の差である．

帶試驗及影試驗の球心に於けるもの，特に鋭敏な理由こしては星焦點に於けるより收差が四倍に擴大されて居る事である．從つて第七行では百分値まで四分數が示してある．收差は光束の最小收束點から現すから平均焦點を求めねばならぬ．收差の影響は光量こ中央よりの距離によつて現される．即ち $\gamma^2 a$ に比例するから

$$平均焦點=\frac{68^2\times0+60^2\times0.02+\cdots\cdots\cdots10^2\times0.21}{68^2+60^2+50^2+\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots10^2}=+0.04$$

即ち平均焦點は+0.04ミリにあるから，0.04ミリを0こし差をこつて最後の收差値こする．數値の正負は其の帶の焦點の長短を表はす．

624. 整形 Figuring

研磨を終つた表面は雙曲線，偏球等如何なる表面であるかも知れない．外觀上全然判斷が出來ないので，種々の檢査法によつて，檢査法の精度の許す限り，拋物線に直す必要がある．此の道程を整形こ呼ぶのである．整形の方法は十八世紀の初めより現在まで凡ゆる製作者が全能力を費し，實驗的に發達したものである．整形の大部分は全く箇人的の技術に屬する爲に他者に傳え難い理由もあるが，由來專問の營業製作者は極めて祕密主義であり，其の方法は殆んご知られてない．然し幸ひ素人研究家が書殘した文獻によつて其の幾分が知られて居る．筆者は，甚だ不充分ではあるが此の章を書くまでに作つて約百三十箇の拋物線鏡及び百五十箇の光學平面を磨いて得た經驗上より，幾分其の歩を進めて見たい，

整形の方法は昔の製作者は可なり知つて居たこ傳えられて居る，勿論彼等

は研磨の經驗上，其の大綱は知つて居たのに違ひないが像の檢査によつて行つた爲に餘り正確なものでない，其の大部分は各種の運動卽ち直線，楕圓，圓運動の使用及び其の長短，位置等にあつた事は想像出來る，然し檢査方法が像のみによつた爲に拋物線ゝ言ひ得るものは稀にしか作れなかつた樣である，英國の Blacklock 氏の數十箇のグレゴリー主鏡の研究によるゝ其の表面は一つゝして拋物線に近いものはなかつたゝ言はれて居る．有名なハーセルの鏡でさえも Steavenson 氏によるゝ拋物線に近いものは極めて稀で，修正量の十倍に達する雙曲線さえ見出されたのである．十九世紀の中頃，ロッスの研磨器の出現以來，ラツセル，ワーレン，ド，ラルー等によつてら主ゝして運動による改良が試みられて居る．然し此れ等の方法は，熟練して，其の使用方法を會得する爲には少なくゝも百個の鏡を磨き，又數年間の時日を要した爲に，容易な進歩を見なかつた．

然し幸ひ，1859年フーコー試驗の發見によつて微細なる鏡面誤差の檢出が容易ゝなり，從つて整形方法にも一段の進歩を見たのである．キー及びウイスの案出した，ピツチ切取り法もウイスによつて發達された．一方機械研磨法にもコンモン，リツチー等によつて著しい進歩を見たのである．一方輪 Ring の整形法に對し1906年エリソンによる横ずらし法によつて，殆んゞ大部分の整形法に對する大綱を得たのである．

整形の方法は最近に至るまで書物には隨分粗雜なものが多い．拋物線ゝ球面ゝの差のみ說いて，實際の方法は一行も書いてないものがある．通常整形法は數行に過ぎず，此の數行もたゞ磨いて居れば直るゝいつた樣な亂暴なものである．

現在に於ては尙ほ不充分であるゝは言え，種々の表面の修正法は殆んゞ知れて居る．素人は拋物線は半ば偶然に出來るものであるゝ考えて居る人も少なくない．現在に於ては理論的に實驗的に，科學的な方法によつて精巧な表面を作る一つの技術である．堂々たる理論的の立場から一定の方針をゝつて表面修正を行ふ事が出來る．從つて無暗ゝ磨いて機會を求めてはならない．球面ゝ拋物線の差の數分の一乃至數十分の一の，卽ち一ミリの數萬分の一の微細なる修正を行つて居る事を常に念頭において無謀な事は

してならない.

整形の主旨

整形には種々の方法があるが, 基本的な主旨としては

1. 缺點は作つたものを直すよりも, 作らない方がよい. 從つて綿密な注意が必要である.

2, 缺點は直す事に苦心するよりも先づ第一に原因を尋ねて, 根本的な原因を除去すればよい.

3. 磨いて作つた缺點は, 磨いて直る. 卽ち我々が時間と勞力に制限を受けなければ, 如何に困難な表面も直し得る. 卽ち整形が不可能として, 上げ擂りにもどる必要はない. 此れは初心の素人には困難かも知れない. 然し擂る時に出來た缺點は磨いて直る事は少い.

整形には二つの區別がある. 研磨の終るまでに出來得る限り平且な球面近いまで直し且つ保つ初期の整形と, 正確なる拋物線を作る精細な整形とに大別出來る.

又方法としては負修正, 及び過修正の鏡を修正する方法に大別出來る.

ピツチ盤で直す方法

研磨によつて作られる表面は或る程度までピツチに原因がある. 理想的に言えば球面以外のものは出來るはずがない. 球面以外のものが出來るのはピツチ盤に何等かの缺點がある. 缺點といえばピツチの剛軟及び密着如何によるものである. 卽ち前に述べた樣に軟かいピツチは雙曲線を作り易い. 又堅いピツチは球面を作り易い. 又密着の惡いピツチは種々の缺點を作り易い. 卽ち方法としては

雙曲線を直すには堅いピツチを使えばよい. ピツチ盤に原因する缺點は良好なピツチ盤によつて修正する. 例えば拋物線に直すに際して誤つて雙曲線としたものは, ピツチの性質がよければ研磨を續ければ自働的に球面に近づく.

都合の良い場合, 何等の手を加えずして一ミリの一萬分の一以上の誤差のない球面が出來て居る. 自然的な法則に作られる面の正確さには全く驚かされる事が多い.

誤つて作つた表面の缺點，卽ち穴，輪，階段，整形時に作つた雙曲線，部分的な穴等は殆んど總て通常の研磨運動により消失或は殆んど除去し得るものである．筆者は此れ等を總稱して自働修正法と呼んで居る．此の方法は通常極めて遲い．他の直接方法もあるが，此の自働修正法によらねば直らないものが多い．直接方法によつて整形が行詰れば常に有用である．

運動よつて修正する方法

整形の初期に於て最も重要なものは運動である．卽ち運動を行ふ位置，形狀，及び長さである．簡單なる規則は次の如きものである．

1. 運動は短かければ卽ち鏡徑の三分の一以內であれば，表面は偏球に近づく傾向がある．此の傾向を利用して雙曲線の輕度のものが修正出來る然し運動が短かければ鏡の中央近く鋭い輪を作り易い．

2. 運動が長ければ鏡の中央が强く磨かれる爲に雙曲線に進む．此の簡單な法則はハーセルガがすでに心得えて居たものである．

卽ち偏球或は球面を拋物線に直すには運動を序々に三分の一より，二分の一近くまで延長し，强運動を行ふ．此れだけで拋物線になれば都合はよいが，此の方法結果の分からないものはない．結果如何は殆んどピッチの狀況による．ピッチが堅過ぎれば此の方法は適用困難である．又比較的堅くて極めて球面の出來易いピッチなれば等しく困難である．結局軟質の研磨盤卽ち雙曲線が出來る程度の軟いピッチなれば成功する事もある．通常小口徑のみに使用出來るが，中口徑には困難である．

又最も重大な此の方法の缺點はターンエッヂを發生し易い．卽ち中央部に焦點距離の短い廣い球面が作られる爲に發生する．又運動が長過ぎれば中央に强い穴を作り易い．

整形研磨中にも表面の形狀により球面に近づける爲に此の方法は常用してもよいものである．