



反射望遠鏡の種類

中 村 要

近來、反射望遠鏡の普及は喜ばしき事であるが、素人に反射望遠鏡の根本智識の缺けた爲、或は理解の無い爲に、一般素人が寧ろ誤れる道を進める如く思ふ。

自分はすでに大正十三年度の天界に反射望遠鏡の研究を述べ、大正十五年年度には科學畫報 7. 8. 9. 10 月號に、素人向の反射望遠鏡及鏡面の製作法を書き、又同年、山崎正光氏の天體望遠鏡の作り方の如き良著がある。従つて當分書物として必要にせまられたものでない爲に、今後此の誌上に於て、此の記事を續けたい。自分は此の記事の爲にまこまれる参考書は持つて居ないが、自己の經驗に基いて、寧ろ素人向ではない比較的高級な記事を、鏡面、平面の製作に至るまで述べたい。従つて、前記の記事と著しく重複する點も起り得る事であるから此の點は寛恕ありたい。

反射望遠鏡 (Reflecting telescope, Reflector)

望遠鏡は集光の様式により屈折式 Refracting と反射式 Reflecting の二様式に分ち得る。屈折は集光に對物レンズを使用し、反射は鏡面による。屈折はレンズの屈折作用により、反射は凹面の表面反射によるとすれば比較的分り易い分類法であらう、屈折望遠鏡に於てはレンズ面が球面と假定せるに比し反射望遠鏡に於て鏡面に非球面の表面を巧に利用せる事に著しい特長を持つのである。

圓錐曲線の箇々の性質は鏡面試験にゆづり、此の處では拋物線鏡の概念的な説明を與えておこう。

反射望遠鏡に於ては集光の役目をなす主鏡は何れの型に於ても同様であつて、星の光の如き無限大の距離より来る平行光線に對し球面鏡 Spherical mirror にては、端に至るに従ひ焦點距離短かく、一點に光が集まらない、即ち球面収差を起すので鋭い像を與える事が出来ない、此の爲に反射望遠鏡に於ては平行光線を一點に集める、拋物線鏡 Paraboloidal mirror を使用する、拋物線鏡は光學上の性質により正しい像を與える、拋物線鏡も精細に言えば廻轉拋物線體である、拋物線鏡は光軸に平行せる光線に對しては球面収差を示さないと同時に、表面反射によるのであるから、色収差を全く起さない、單一の表面で此れだけの都合の性質を持つて居つて居るので色消しレンズの如きものは完全である、然し色消しレンズに於ては數箇のレンズの組合せにより側方より來れる光には良好なる像を與える、寫眞レンズに於ては、視界の彎曲、コマ、アステグマチズムの如きは重要であるが反射望遠鏡の如く、角度も一度以内の狹角にあつては、深く、考慮を要しない。

反射望遠鏡の鏡面は古くは凹面の金屬鏡を使用し、現在に於ては、凹面の硝子面の表面に化學的に鍍銀して鏡の作用をなさしめる、極く初歩の素人は此の點に往々誤解を持つて居る、光を硝子材に通過せしめない點に反射望遠鏡の特長がある、

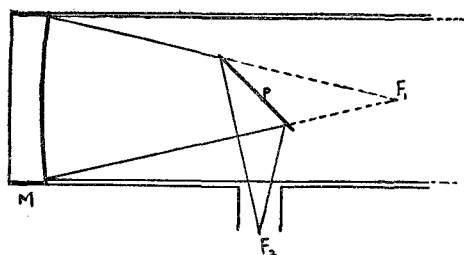
(硝子鍍銀凹鏡を裏面より見れば凸鏡の作用をなし、若し、裏面に鍍銀すれば光線は分散され、凹レンズとなる)、

反射望遠鏡は各型の様式により、次の様に分數し得る、

- | | |
|-----------------|---|
| A 直接焦點に於て觀察 | $\left\{ \begin{array}{l} 1. \text{ ハーセル式} \\ 2. \text{ ニュートン式} \end{array} \right.$ |
| B 合成 Compound 鏡 | $\left\{ \begin{array}{l} 3. \text{ グレゴリー式} \\ 4. \text{ カセグレン式} \end{array} \right.$ |

1. ニュートン式 (Newtonian reflecting telescope)

ニュートン式は純天體用として發達せるものである、ニュートン式は製作者が良好なる平面製作に成功せる以後、進歩せるものでは、進歩の頃は十九世紀の中頃と言ふ事が出来る、此の詳細は平面の部分に譲つてきてニュートン式の原理は



天體 S に筒底にある凹面鏡 M を向ければ、焦點は物體ミ鏡の中間 F_1 の位置に出来る。

此れは反射望遠鏡の總てに共通な根本の様式である。 F_1 の焦點の前、焦點ミ鏡面の中間

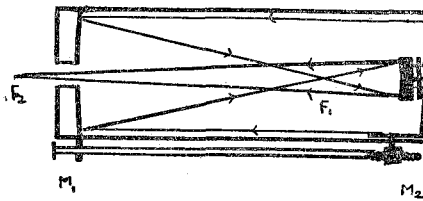
に四十五度傾いた、小平面鏡をおき、焦體を F_2 に導き、筒の外側に焦點を結ばしめれば、接眼レンズを使用して像を見る事が出来る。平面鏡の傾は、必ずしも 45 度までは限られず焦點面に直角に接眼レンズが置かれれば差支えないが、工作を簡単にする爲に他の角度は使用される事は無い。今筒が水平にあるものとして、 F_1 下に於て像は我々が姿見の鏡で知る如く、上下のみ反轉し、 F_2 に於ては、 P の平面により、左右のみの反轉が起り、結局 F_2 の焦點に於ては像は逆立して居る。即ち像は屈折ミ鏡同様に見える。若し景色用に使用するなれば、更に逆立して、結局正立像を與える景色用接眼レンズを使用すればよい。此の點は屈折ミ鏡同様である。

星から來た光は中央の光を斜鏡 Diagonal で切られるのであるが像は凡ての光線が一點に集つて來る爲に屈折ミ異なる筈はない。若し、斜鏡が明るさを持つなれば斜鏡の像は出来るが單なる影に過ぎないので素人の考える如き、斜鏡が邪魔する如き事はない。かような心配は、レンズの芥や傷等が見えないのと同様である。然し凹レンズを接眼レンズに使用する事は反射では不能である。視野の中央が斜鏡の爲に暗くなる。

ニュートン式は其の焦點距離が觀測者の身長、即ち約二米以内、口径で言えばほぼ 20 センチ以内の場合が最も使用し易い。大口徑に於ては焦點が筒口近くにある爲に觀測上種々の困難が起る。然し、製作上最も簡單であるので最も多く、大口徑のカセグレイン等も元來はニュートン式でしかもカセグレインにも共用し得る様に作られる。ニュートン式は寧ろ小口径に適した型である。

2. グレゴリー式反射望遠鏡 (Gregorian reflecting telescope)

グレゴリー式は正立像を與える爲に主として景色用として發達し使用さ



れたものである。

グレゴリー式は、主鏡の中央に丸い穴が作つてある。此の穴の直径は主鏡の五分ノ一以内である。グレゴリー式は第二鏡として小

凹面鏡 M_2 を有し、此の位置は焦點を過ぎた位置にあり、一旦焦點 F_1 を外れて分散した光を再び集めて主鏡の中央の穴を通し、主鏡の後方 F_2 の位置に像を結ぶ、小凹面鏡の表面は球面ではない、橢圓體 Ellipsoid であつて、 F_1 F_2 は此の橢圓の焦點に當たる。主鏡の焦點距離はニュートン式より著しく短く f 3 乃至 f 5 であり、橢圓鏡により數倍に延長され、筒は短くとも合成焦點距離は長い。 F_1 に於ては像は逆立し、 M_2 により反轉され F_2 に於ては正立する。

舊式金屬鏡に於ては筒側の棒によつて、棒に連結された橢圓鏡を動かして焦點を合はせる様になつて居る。此れは明らかに誤つた方法である。以前より幾度か此の問題については論争がくりかえされた。舊式グレゴリーは元來景色用であり従つて主鏡の焦點距離は、物體の距離により僅かではあるが焦點距離が變動する。此の場合には接眼レンズを移動して焦點を合はすよりも小鏡の移動が好都合である、天體用なれば接眼レンズを動かして焦點を合はすべきである。數理上より種々問題にされたが事實上グレゴリーの作られた時代には景色が主であり、又金屬の工作上より見ても、接眼レンズ移動の爲めのネジ運動よりも、橢圓鏡の移動が好都合であつたと思はれる。グレゴリーの作られた時代には鏡面の試験法は知られず、たゞ幾多の大小鏡を組合せて最も像のよき對を選んだに過ぎないと言はれて居るのであるから、深く問題にする必要もない様に思ふ。

グレゴリー式は1800年の前後 50 年、色消レンズに代つて景色用として使用されたのであり色消對物レンズの發達と鍍銀鏡の進歩等により、全く發達の途を破られ、現在僅かに メー May なる製作者によつて僅か製作されて居るのみである。しかし過去の遺物は尙ほ多く存在し、使用されて居る。従つてグレゴリーは通常金屬鏡であるを考へてよい。古いグレゴ

リーは通常3或は4吋であり7吋位まであるが小口径では2吋、1吋或は $\frac{3}{4}$ 吋まである。グレゴリー式の接眼レンズは通常他の望遠鏡に使用出来ない。此の點はニュートン式或は屈折に比し甚だ不便である。何故かと言えば通常の接眼レンズを使用すれば、希望する目的物の像以外の斜光線が直接大鏡の穴より浸入して目に入る結果、像を明視する事が出来ない。此の散光 (Stray light) を避ける爲にはアイピースのキャップ穴の位置及び直径を極度まで制限する必要がある。即ち接眼レンズによつて出来た大鏡の像の位置に、此の像の直径 (即ち口径を倍率で割つたもの) だけの穴をおいて、他の總ての斜光線を遮ぎる必要がある。従つてグレゴリーの接眼レンズのキャップは特殊なもので其の穴は全く針孔同様に小さいものである。又其の穴の位置を調節し得る様に作つてある。かような理由で接眼レンズの點に著しい制限を受ける。以上の事は針孔が無くとも暗夜には散光が無いので差支えないが月夜には使用困難である。此れ等の點はカセグレインも同様でありほゞ同様な利害を持つので次章に特長をのべる。

さてグレゴリーの實用上の像は如何であらう。ニュートン式より製作困難は言ふまでもないが、若し良く出来て居るなれば可なり良き像を與える、しかし現存する舊金屬鏡に於ては多くの場合集光力不足の爲に通常、實に淡い暗い像を與える従つて舊グレゴリーは有力なものでない。

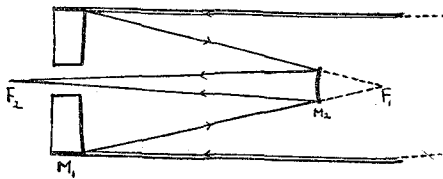
(註、筆者は現在内地に四箇のグレゴリー式を知つて居り、此の頭小數で、あるが日本に來たものと思ふ)。

金 屬 鏡 Metallic speculum

金屬鏡は鏡面に使用されたものは銅三、錫一の割合で混合されたもので反射光には殆んご色は認められない位白色で反射率は平均 65% であり、特に銀に比し紫外線の反射よく現在グレーチング其他物理光學實驗用に使用されて居る。此の合金は極めて重量のあるもので3吋徑のもので6吋徑の硝子鏡と同等もあり 15 吋は到底人力を持つて動かし得ずこの事である。又其の剛度は鐵に等しく又硝子材の如く脆く、非常に取扱ひ難い合金である、金屬鏡は合金の質により耐久力に甚だ差があり、ショートの鏡の如く百數十年を経た今日、製作當時の如き光澤を有するものもあり、或は像を作り得ざるまで曇り終つたものもある、金屬鏡は一般によく反射する

如く美しく見えるか、反射力は著しく低いものである。曇つた金属鏡は多くの場合に金剛砂をかけ磨き直しを要するものであるが、強アンモニア水を脱脂綿につけ洗えば著しく光澤を増すものである、此の際に充分の水洗を要する、素人の間には曇れる鏡面を旋盤に取付けバツフで磨こうしたり、又部分的に紅柄を使用して磨いたり、或は銀鍍金を試み等、光學表面を完全に無視した試みが多い。

3. カセグレイン式反射望遠鏡 (Cassegrainian reflecting telescope)



カセグレイン式はグレゴリー式とほぼ同様な構造で従つて同様な特長と缺點を有して居る、其の構造は

M₁ はグレゴリーと同様

の穴開き鏡であるが光が焦點に至るまでに凸の小反射鏡をおき、グレゴリーと同じ位置 F₂ に焦點を結ばしめる。凸の小反射鏡は球面ではなく双曲線 Hyperbola の表面を持つて居る、像は逆立する。カセグレインのグレゴリーに対する特長は同等の合成焦點距離でしかも筒を著しく短くし得る事である、此の爲にカセグレインが使はれる。

カセグレイン式の現在の用途は短焦點のニュートン鏡を長焦點にも使用する爲である。大口徑のニュートン鏡は主として天體寫眞の爲に、及び筒の延長を避ける爲に、通常 $f5$ に作られる。此れを通常 $f20$ 内外として使用する。又二三の餘分の小鏡を作り任意の合成焦點距離を得る事が出来る。例えば井ルソン山 60 吋では、直接の焦點距離は 299 吋、長焦點寫眞用としての合成焦點距離は 100 呎、分光寫眞用としては 80 呎、クーデ用として 150 呎の三種に使へる。天體寫眞用としても遊星狀星雲の爲にはカセグレイン焦點が必要である。

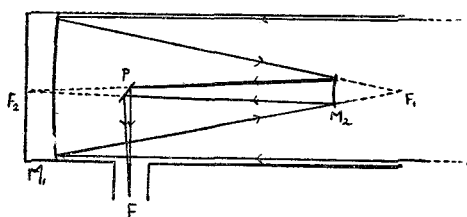
天體物理學研究の必要上、分光器の使用は極めて望ましい事である。しかるに大型の分光器はニュートン焦點に於ては觀測位置の都合上、極めて高處に於て行はねばならず又分光器の設計上 $f5$ の廣角は不可能であるの

でギクトリア 72 吋ミシガン 37 吋の如くマウシチング其のものが分光寫眞用に作られて居る。現在 20 吋以上でカセグレインで無いのは珍しい。ニュートン式も大部分カセグレインに使用し得る如く製作してある。リツクのクロスレー 36 吋(カルバー鏡)は寧ろ純ニュートンとして稀らしい。(製作古き爲)

20吋以下の場合には筒長も短かく、カセグレイン構造は必要とされず 10吋以下ではカセグレインは不必要であるので稀らしいものである。

カセ、ニュートン式 Casse-Newton

通常カセグレイン専用の鏡面は牽孔されて居るが、牽孔鏡面は硝子材の



處理及鏡面製作に種々の困難が伴ふのである。穴なき鏡面では焦點距離を延長する爲には、カセグレイン構造をこり、主鏡近くの第三

の平面反射鏡 P により筒側に焦點を作る、此の組合せは純カセグレインと區別する爲に、カセニュートンと別稱される事がある。元來英のナスミス Nasmyth 氏の考案であり、光の損失、三回の反射による爲の、像の一方のみの反轉等の不便があるが、焦點位置が筒の重心に近く又、特に重心に置いて、種々の方面に使用されて居る。井ルソン山の 60, 100 吋は此の方式である。更に又、フオーク型のアウンチングに於ては第三鏡を自由に傾きを變じ得る如く作れば光を極軸上の、筒定せる點に焦點を作り得る。ハーヴァード天文臺のコンモン 60 吋鏡は極軸上北方に接眼レンズを置き、井ルソン山 60 吋にては極軸上南方地下室に大型分光器をおき、恒星の分光研究が行はれた事がある。屈折のクーデ型と同様な考案であるので Cassegrain-Coudé と呼ばれる。

カセグレイン及びグレゴリー鏡の計算

30 センチ口径の f5 即ち焦點距離 150 センチの鏡面を適當なるカセグレインに化する爲には、硝子材の厚さを 5 センチ焦點 F_2 より M_1 までを 15 センチとすれば (第三圖)

$$a = F_1 - M_2 = 30 \text{ cm. とす}$$

$$b = M_2 - F_2 = 150 - 30 + 5 + 15 = 140 \text{ cm.}$$

F_1 に於ける焦點距離と F_2 の焦點距離の比即ち倍數及合成焦點距離は.

$$\text{倍數} \cdots \frac{b}{a} = 4 \frac{2}{3}$$

$$\text{合成焦點距離} \quad 150 \times 4 \frac{2}{3} = 700 \text{ cm.}$$

今, M_2 の球面半徑 Radius of curvature は

$$x = \frac{2ab}{b-a} = 76.4 \text{ センチ}$$

凸鏡の焦點よりの距離により, 任意の焦點距離が得られるが眼視用に f_2 5 以上は必要ない.

グレゴリー式 (第二圖)

主鏡は前例と同様とし, 希望する合成焦點距離を七米とすれば

$$\text{倍數} = \frac{b}{a} = \frac{700}{150} = 4 \frac{2}{3} = \frac{14}{3}$$

$$3b = 14a \cdots \cdots (A)$$

$$\text{但し} \quad \begin{cases} a = F_1 - M_2 \\ b = F_2 - M_2 = 150 + 5 + 15 + a = 170 + a \end{cases}$$

A に b を代入して,

$$3(170 + a) = 14a$$

$$11a = 510. \quad a = 46.4 \text{ センチ.}$$

即ち凹鏡は焦點外 464 ミリの點に置けばよい.

$$\text{其の球面半徑は} \quad \frac{2ab}{a+b} = \frac{2 \times 216.4 \times 46.4}{216.4 + 46.4} = 76.4 \text{ センチ}$$

小凸及凹鏡は球面ではないが, 其の表面は, フイギュアーリングによつて収差零に近い様修正するので深く考慮を要しない,

實地上には此の位置及球面半徑以外に其の直徑及び有效表面を考慮せねばならぬ.

カセ凸鏡の極小限の半徑は

$$300 \times \frac{300}{1500} = 60 \text{ ミリ}$$

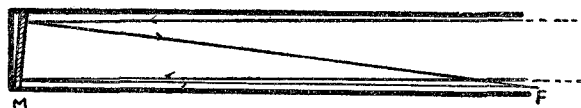
全表面よりの光を月の半徑 30 分だけ送る爲には

$$x = \sin 30' \times (150 - 30) = 1.0 \text{ センチ}$$

即ち直徑は $6.0 + 1.0 = 7.0$ センチである。

設計上には光の損失を極小とする爲、倍數及第二鏡の直徑には深く考慮せねばならぬ。

ハーセル式反射望遠鏡 (Herschelian reflecting telescope)



ハーセル式は前三型式のものは約一世紀おくれで發明されたもので有名なウィリアムハーセル W. Herschel の發明である。

此の式に於ては第二の反射鏡を有しない。即ち筒長を焦點距離に等しく作り、主鏡 M を傾けて焦點を筒口の外側に導き接眼レンズにより觀測するのである。

ハーセル式では當然光軸外の像を見るのである爲に、當然の結果として像が歪曲し、コマを共ふ。此れはハーセルがニュートン式を排して、此の式を賞用した理由、即ち

金屬鏡に於ては最良の研磨面でも反射率は 65% に過ぎず、若しニュートン式の如く二回反射すれば總光量は僅かに 40% 許りに過ぎず、光の損失は可なり大きい。又此の損失は彼の主目的である星雲觀測に損失であり、像の歪曲は星雲觀測の如き低倍率觀測には餘り差支へがない。

しかも像を良好ならしめる爲に賢明にも長焦點の鏡即ち $f 15$ 内外を作つて居る。現在に於ては高反射の鍍銀面を使用する結果、ハーセル式を使用する理由を失つたものである。従つてハーセル父子以外に殆んど使用されず、現在にても眼視用としては素人が平面を得ざる場合の一策として使用する以外例が無く、たゞ過去の記録としては 1890 年代英の素人ロバート C. Robert が 6 吋ハーセルを使用して遊星觀測を行つた事がある位である。

ハーセル式の原理は現在反射鏡による太陽寫眞に使用されて居る。即ち $f 30$ 内外の長焦點鏡を僅か傾けて太陽鏡(ヘリオスタット)より送られる光

の側方で寫眞を得るのである。井ルソン山のスノー Snow 望遠鏡の 24 吋鏡は此の式であり、京都大學天文臺にも 18 センチ、スタインハイル鏡がある。

ハーセル式の利點は光の損失が少い事、又一つ斜鏡及其のサポートによるデフラクションが存在せない事でグレーチングを使用した分光器には利益があるこの事である。

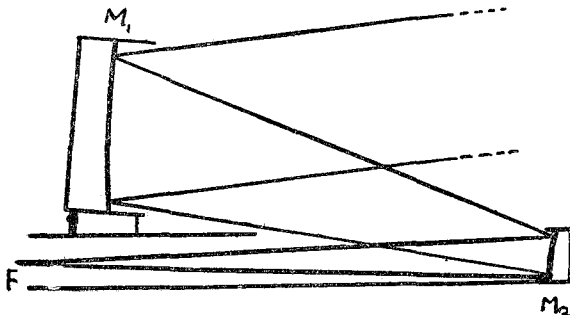
缺點は可なり多く、像の歪曲はすでに述べたが、鏡が一箇である爲に像は一方のみの反轉が起り不便である。長焦點鏡である爲に觀測位置が甚だ不便であり、又筒口の觀測者の熱が氣流を起し像を直接に亂す。

ハーセル式の像の歪曲を可なり避ける爲には次の如き表面が必要である。即ち鏡端に光軸を有し、鏡端に拋物線の中心を有するを表面であれば、ニュートン式に横絞りを使用せると同様良き像も與える。此の方法では光軸外でコマが多いが、事實上、我々は、此の要求を満たすべき表面を正確に作る方法を知らない。若し作るなれば口径の二倍の拋物線鏡を作り中心を端を通る圓で切斷した面を選ばねばならぬ、然しかくの如き面倒な方法はニュートン式を知る吾人には寧ろ浪費である。

ハーセル式は構造の如く Front view 或は Lamarian telescope とも呼ばれる、

ブラキー望遠鏡 Bracht telescope

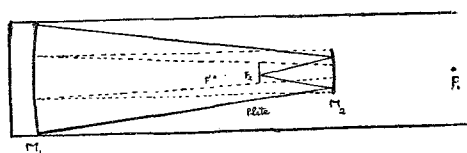
此の特殊な型は 19 世紀末オーストリア國ウインの光學會社 Fritsch より可なり多く賣出された望遠鏡でハーセル式を加味したカセグレイン式である。即ち、



主鏡 M_1 を傾けて、焦點前の筒側の M_2 に光を送り、 F_2 で焦點を結ぶ。

マウンティングの形狀として、 M_2 より F_2 に至る細長き望遠鏡の横に丸い太い筒を取付けた様になつて居る。ハーセル式の如く光軸外の像を見る爲に像が歪曲するのは免れないが、像の歪曲は比較的少いこの事である。此の望遠鏡は三吋乃至六吋位の小口径に作られ且つ比較的高倍率が使用されて居る、Dr. Konkoly は、ニュートン式よりも良好であると言つて居るが其後製作されない。

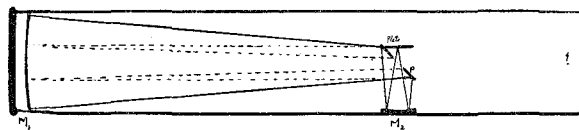
5 第 五 型



第五型は未だ實用に供せられてない型で比較的大口径にのみ利用し得る合成鏡の一つである、グレゴリー。

カセグレインは何れも短焦点の鏡を長焦点に利用する方法であるが、此の型は、星雲等の高速度寫眞を要する場合の焦点短縮法で前の逆を行つたものである。此れは 1926 年英クック會社のテイラー氏の創案に基いたもので筆者が有用と考へる型は、

第一は、焦点前に凹面鏡 M_2 をおき F' に來るべき焦点を F_2 にまで短縮する。 M_2 の曲率により任意の短縮が出来る。此の方法においては、種々の都合上 M_2 鏡の直径をデフレーションの爲像を亂さざる範圍、即ち口



徑の三分ノ一まで使用すれば M_2 の影（點線内）の許す範圍即ち F_2 の位置に於て比較的大型の乾板が使用し得る。光を遮らない爲に非常な制限があるが先づ 50 センチ（20吋）以上の反射鏡なれば實用に供し得る。

第二は、ニュートン型の第五型である。即ち此の型は比較的長焦点の小口径に適した方法で傘孔平面を利用する。此の場合には平面が影に置か

れない爲に乾板の大きさには比較的制限を受けない。但し此の型では斜面
穿孔平面の製作が小口径にのみ制限される等の困難を考へねばならぬ。

何れの型をさるも像が筒の中央に來る爲に寫眞の爲にはカイデイングテ
レスコープ案内望遠鏡を要求する。此の點も $f/3$ 以下のニュートン鏡の困
難と異なる點はない。

井ルソン山に於ては焦點前にレンズを置き短焦點を得て居るが寧ろ此の
方法が賢明である。

第一の M_2 鏡の表面は F_2 に人工星をおき、 $M_2 M_1$ を經て、平行光
線として、向ひ會つた望遠鏡によりファイギュアリングは行ひ得る。第二
に於ても第一の如く置きファイギュアリングの爲の表面試験が行ひ得る。

古來幾多の反射望遠鏡もあるが次の様な例も稀らしい。

英アイルラントのアルマー Armagh 天文臺に百數十年前有名なショ
ート Short に作られた六吋鏡がある。此れはニュートン、グレゴリー、カ
セグレン何れにも使用出来るが、其の一箇の平面が切半され、半口径づ
ゝであるが、ニュートン焦點及びグレゴリー焦點、同時に、二人が同一天
文體を覗き得る様になつて居る。

會 員 消 息

山本教授 ホン・ウイネツケ彗星觀測の爲め、六月十三日京都發滿洲に
出發。

中村要氏 同彗星及流星觀測の爲めに六月二十日北海道に出張。

上田助教授 學術上の用務に上京中の所六月十一日歸洛。

宮原節理學士 物理學研究の爲英國に留學の爲め、五月四日門司發鹿島
丸にて出發。

新城教授 學術上の用務を帶びて、六月七日上京、同月十日歸洛。
同じく、六月十四日上京、六月十七日歸洛。

荒木助教授 京都市上京區東川端出町下ル下柳町に轉居。

能田忠亮理學士 病氣の爲め府立醫科大學附屬病院に入院中の同氏は昨
今經過甚だ良好。

秋葉寛次郎理學士 六月より京都市立工業學校に奉職。