

岡山天体物理観測所の蒸着よもやま話

渡 辺 悦 二*

はじめに

岡山天体物理観測所では毎年6月に鏡面の蒸着作業を行っているが蒸着作業及びそれに伴ういろいろな作業についても少し記してみたいと思う。

当観測所にある鏡は 188 cm 反射望遠鏡の主鏡 (約 2 トン) 91 cm 望遠鏡の主鏡 (300 kg), 65 cm 太陽望遠鏡の主鏡 (84 kg), 太陽クーデのエシエル分光器の主鏡 (100 cm, 310 kg), 副鏡類 (40~50 cm) 7~8 枚, 20~30 cm 類 10 枚, その他小物の鏡である。空調の効いた分光器室にある鏡を除いては殆ど毎年蒸着する。鏡面は蒸着直後は非常にソフトであるが数日後には表面に酸化被膜ができ丈夫になる。丈夫と言っても指でさわれば勿論指紋がつき, 柔らかい毛筆でも注意しないと傷がつく。主鏡の汚れはひどいもので一年もすると 4000 \AA 附近で約 $1/3$, 6000 \AA 附近で約 $1/2$ 位に反射率は落ちる。余りにも汚れがひどい時には途中でアルコールエーテル等で拭く時もあるが, どんなに注意深く拭いてもすり傷が多くできる。散乱光を問題にするような場合は拭かない方がいいと思う。外国では昔は蒸着はできるだけしない (2~3年) 方向だったが最近はどこでも毎年蒸着するようになった。外国の空も日本並に汚れてきたのか, 少しでも反射率を上げようとしているのか, いずれにしても折角の大望遠鏡を最大限にいかすためには反射率を最高にしておくことは大切である。

1) 準備

まず, どの鏡を今年蒸着するか毎年4月頃見て歩く。埃のひどい鏡, 唾が飛んで核になりその周囲にカビが生えている鏡, アルミニウムが白っぽくなっている鏡 (我々はこの状態をアルミが浮いてきたという), 等長年の経験をもとに決める。次に必要な材料の調達であるが時間を要する物に鏡を拭く時に使用するサラシ布がある。市販のサラシ布を 30 cm に切って水酸化ナトリウム 10% 溶液の中で 5~6 時間煮る。煮ることによって脱脂され布も非常に柔らかくなる。その後きれいな水で充分洗濯し, 埃の少ない部屋で自然乾燥する。でき上がったサラシ布は塩化カルシウムの入ったデシケーター内で乾燥貯蔵される。このサラシは何回も使用され古い方が柔らかく使い易い。蒸着以外にもかなり使用されるため1年間に使用するサラシは約 80 反であり, 毎年新

しく 5~6 反追加する。

2) 蒸着作業期間中

この期間中にはいろいろな仕事がある。望遠鏡の解体 (バラシ屋), 鏡の洗滌, 拭き上げ (ハガシ屋), 蒸着作業 (タンク屋) とそれぞれ作業を能率的に並行に進める為に分担作業となる。

ある一日の作業を追ってみることにしよう。バラシ屋は蒸着順序に従っていろいろな段取りを考えながら各望遠鏡を分解し鏡を裸にしていける。その他望遠鏡を分解している期間にしかできない種々の改造, 修理, 注油, 掃除等も行う。又でき上がった鏡をセルに入れたり, 望遠鏡の組立, 光軸調整等もバラシ屋が中心になって行く。バラシ屋が, ある望遠鏡をバラシに出かけた後, ハガシ屋はすでにバラシ屋の手にかかって裸にされている鏡を本日分だけ洗滌台に運搬する。タンクの都合から正午すぎにタンク内に納めるように時間配分する。

まず鏡の表面に水を充分かけ, 埃, ゴミ等を洗い流し, 次に (写真 1) のように水酸化ナトリウムの 10% 溶液をかけると約 10 分位で古いアルミニウムは剥げ落ちる。外国の多くは酸性液を使用しているが当観測所では 188 cm 望遠鏡のメーカーであるグラブパーソンズ社の指示で最初からアルカリ液を使用している。

鏡面をよく検査し古いアルミニウムが残っていないか確かめた後, 水をかけ水酸化ナトリウムを洗い流す。その後重炭酸ナトリウムに少量の水を加えゾル状にし, 素手で鏡面を物理的に磨く (写真 2)。純水をかけ重炭酸ナトリウムを洗い流す。きれいになったところで無水アルコールを鏡面の高い方から低い方へと充分かけ水分を取る。

鏡面だけでなく, 横, 裏等の気泡にも注射器でアルコ

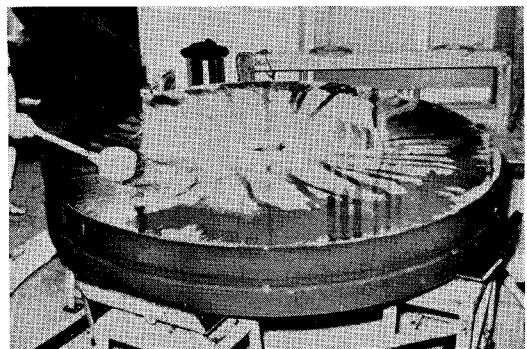


写真 1 アルカリ液でアルミニウムメッキを剥がす

* Etsuji Watanabe: Alminization of Mirrors at the Okayama Astrophysical Observatory

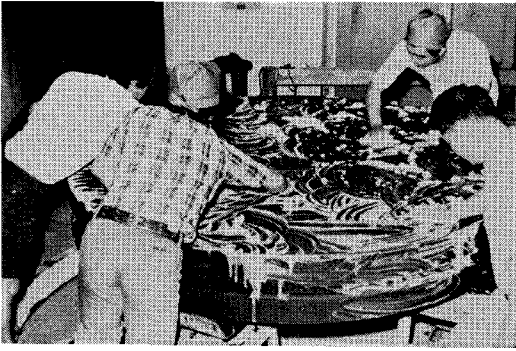


写真 2 素手で鏡面を磨く

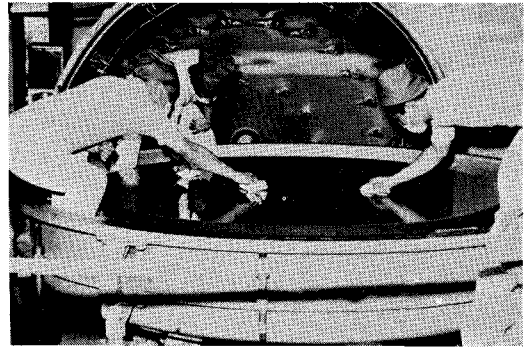


写真 3 最後の拭き上げ作業

ールを入れ、水を追い出す。水分が残っているとタンクの排気スピードが遅くなる。188 cm の主鏡の時で 500 cc 入りの瓶約 10 本位アルコールをふりかける為に 188 cm ドーム内はなんとも言えないいい匂いがしてくる。それと同時にハエもアルコールが好きなのかどこからともなくやって来て鏡の上を飛びだす。

次に前に述べたサラシ布を使って拭き上げ作業にかかる。アルコールエーテルを適度に含ませ鏡面を強く拭く。天気が悪く湿度が高いと鏡面がいつまでも湿っているような感じでサット乾かない。特に拭き上げ中に唾、汗、頭髮等が落ちるとなかなかその汚れはとれない。

特に唾は遠くでしゃべっていてもかなり飛ぶもので注意しなければならない。作業中は(写真 3)でわかるように帽子にマスクを着用し、油のついた服、埃っぽい服は着用しないように注意している。洗滌台の上で一応ここまでの行程をいっきにする。タンクの準備ができればタンク内に鏡をセットし、最終的にもう一度拭き上げ作業をする。(写真 3)。最初の水洗から最後の拭き上げまで鏡の大きさ、枚数によっても少し違いがほしい 3~4 時間位要する。ハガシ屋はその後翌日の薬品の準備や、バラシ屋の手伝いをする。

タンク屋はまずタンクの中から前の日の鏡を取り出し、テスト(後述)を行った後、タンク内の掃除、本日分の鏡を固定する為の治具のセット、アンニール(焼きなまし)の為のフィラメントへのアルミニウムかけを行う。蒸着に使用するアルミニウムは通称フォアサインと呼ばれている 99.99% 純度のものである。すべての準備ができればタンクを閉じて排気を始める。ロータリーポンプで粗引きをし、油拡散ポンプで 2×10^{-4} mmHg (2.6×10^{-2} Pa) まで排気した後アンニール作業を行う。

直径 8 mm で 6 回巻いてあるコイル状のフィラメント(タングステン)に馬蹄形に切ったアルミニウム線を溶かしつける作業である。36 本あるフィラメントのうち 4 本づつを一度に行う。フィラメントを徐々に加熱

し、アルミニウムの融点 (660°C) 近くなるとぶらさがっているアルミニウム線は急になりフィラメントに吸い上げられるように溶けてフィラメントを濡していく。

この時アルミニウムの不純物等によるガスが出る。又アルミニウムが溶けた時フィラメントに巻きつく前に時々タンク内に落ちることがある。落ちたアルミニウムの球は四方に飛散る。もし鏡が中にあれば鏡面を汚すことになる。その為に鏡はタンク内に入れないでアンニール作業を行う。最近ではタンク内の鏡面と蒸着源の間にシャッターを置きアンニールを行い、終了後シャッターを開け続けて排気して蒸着を行うところが多い。アンニールが終ると 10 分位そのままにした後空気をリークさせる。だいたい粗引きを始めて 3~3.5 時間位でアンニール作業は終る。ちょうどこのころ鏡はきれいに拭き上がっている状態でタンク内に鏡をセットする作業に移る。タンク屋が鏡をタンクにセットした後、ハガシ屋がもう一度登場して、タンク内に入り最後の拭き上げを行う。(写真 3)。

タンク内は汚れは勿論、水、油も禁物で靴下も水酸化ナトリウムでよく脱脂、洗濯された物を使用する。汗かきの人は大変で靴下は 2 枚以上履かされ、鏡を拭いている間、度々顔の汗を拭いてもらう。鏡をセットする治具の着脱等に使用する工具等もアセトンの中で洗って脱脂された工具を使用する。勿論素手では使用しない。

いよいよタンクが閉められ粗引きが始る。よくタンクを閉める時、先程集ってきたハエがタンク内に入ることがある。殺虫剤をかけるわけにもいかず、バタバタと追出すわけにもいかず、ぐずぐずして鏡面にも留って糞でもされたら一大事である。排気バルブを最初少し開けた途端飛んでいたハエはポテンとタンク内に落ちる。次にタンクから出て来るハエは見事に銀色に変身している。ハエとは関係ないが、何時の頃からか鏡をタンクにセットし終りタンクの蓋を閉める事を納棺と呼

ぶようになり、これを一日の一つの区切りとしている。

油拡散ポンプで4~5時間排気すると真空度が 7×10^{-5} mmHg (9.3×10^{-3} Pa) 位になる。この程度の真空度になった時タンク内の銅管(マイスナーコイル)に液体窒素を流すとコイルの表面で凝縮性ガスを捉えることにより約20分で 6×10^{-6} mmHg (7.98×10^{-4} Pa) までいっきに真空度が上がる。イオンボンバード(イオン照射)をする為液体窒素を止め、排気バルブを閉じ、窒素ガスを 2.5×10^{-2} mmHg (0.33 Pa) までリークバルブよりタンク内に入れる。

イオンボンバードはタンク内の中心と外側との間でグロー放電させることによって行われるが 2.5×10^{-2} mmHg 附近が一番効率がいい。イオンボンバードは20分行われ鏡面についている埃を焼いてたきだすのに有効とされ、終了後できるだけ早く蒸着しないと効果的でないとされている。その為一度 6×10^{-6} mmHg まで真空度を上げて窒素ガスをリークさせ低真空にする。終了後ただちにメインバルブを開け 7×10^{-5} mmHg になったところで再び液体窒素を流すと約10分で 6×10^{-6} mmHg まで真空度は上がる。最初の段階の 2.5×10^{-2} mmHg の真空度でイオンボンバードを行うとその後3時間前後もかかってしまう。又室内の空気をリークさせると水分が多くあって排気に時間を要して駄目である。 6×10^{-6} mmHg になればよい蒸着開始である。

36本のフィラメントのうち3~4本づつ一度に蒸着していく。フィラメントの色と真空計を見ながらアンニールの時と殆ど同じようにフィラメントの温度を上げていく。急激に温度を上げていくとフィラメントが切れたり各々の温度がそろわなかったりするのでゆっくり行う。3~4本がそろって適度な温度になった時アルミニウムの蒸発温度までいっきに上げ一回の蒸着は終りとする。レコーダーに記録される真空度をチェックしながらこれらの操作を9~12回繰り返す。理想的には一度に36本全部蒸着するのがいいがアンニールの状態の違い、アルミニウムによる電極の汚れ具合の違い等により各フィラメントの温度上昇時間が異なる。設計は一度に蒸着できるようになっていたが数本づつ蒸着している。

これで蒸着は終りであるが最後のポンプの冷却水を止めるのは21~22時頃になる。タンク内は成功を信じてそのまま朝まで放置する。

朝8時、600lのタンクに約10分かけて空気を入れる。タンクを開け鏡面テストを行う。まず全体を見て拭きむらはないか、大きなむらがあればやり直し、なければアルミニウムのつき具合のテストを行う。我々はこれをスコッチテープテストと呼んでいるが市販のセロテープを鏡の通常使わない部分に貼りつけ勢いよく剝す。セロテープにベロッとアルミニウムがつけばやり直し

ということになる。20年前のセロテープと現在のセロテープの粘着力はどちらがどう違うのか知らないが過去何回か剝げたことがある。最近では剝げたことがないのはウデが上がったものと勝手に解釈している。次に膜厚のテストである。古いキャビネ版の乾板の膜面をきれいに剝して(膜面側はかなり良い面精度である)作ったテストピースを取り出し太陽を透かしてみる。経験的にだいたい膜厚はそれで解る。殆どは $700 \text{ \AA} \sim 800 \text{ \AA}$ 内におさまっている。全体が 500 \AA 以下だとやり直しである。以前膜厚と反射率のテストを行ったことがあるが膜厚は 600 \AA 以上あれば反射率は同じであった。 1000 \AA 以上あるといろいろな点からよくないとされている。尚膜厚は時々日本真空(株)で測定していただいている。以上簡単なテストを行いOKとなれば、又本日分の作業に移るわけだが失敗して又同じ鏡を見るのはなんともファイトがでてこない。

失敗の殆どは拭きむらによるもので(こんなことを書けばハガシ屋に叱られるかも知れないが私はタンク屋なもので)大きな鏡を全面拭きむらなく拭き上げるのはやはり大変難しい作業である。ましてや188cmの主鏡を蒸着する日に雨でも降ったり霧がまっていると鏡面は乾かず、いやである。又そのような日は排気スピードも遅くポンプの尻をたたきたくなる。鏡の運搬も出来ず188cmドーム内に出来上がった鏡が溜ってくる。いずれにしても晴天の方がいい。しかしポンプの冷却水、洗滌水と多量の水を使用する為6月の梅雨時期に行っているのが実状である。

最近188cm望遠鏡、太陽クーデ望遠鏡で磁場の観測が行われるようになってきた。蒸着する時内側16本外側24本と同心円状に並んだフィラメントを3~4本づつ蒸着すると当然多層膜になる。望遠鏡と主鏡の位置関係は毎年同じようにセットされるので、鏡とタンク内の位置関係、蒸着順序と一度に蒸着する数がどのように鏡の偏光に効いてくるのかも実験中である。

これらの作業を毎日繰り返すわけだが、期間中最も注意しなければならないのは停電である。油拡散ポンプを使用している時、運悪く停電すると、すかさず油拡散ポンプのメインバルブを閉めないかぎり油がタンク内に逆流し、タンク内は油の蒸気で充たされ蒸着不能になる。過去一度停電したが運よくロータリーポンプだけ運転中でしかも粗引きの時だった為たまたま排気バルブを持っていた時で事無きを得たことがある。油拡散ポンプは9時半頃から19~20時頃まで運転している為、雷がゴロゴロ鳴り出すと注意しなければならない。

3) 蒸着後

バラシ屋は蒸着期間中も出来上がった鏡をセルに入れたり望遠鏡の組立も同時に行う。蒸着後はバラシ屋が中

