

* くもの糸で十字線を製作する技の伝承

天文月報 1970年3月号に当時の子午線部にいた深谷力之助さんが「蜘蛛の糸」という記事を書いている。深谷さんはゴーチェ子午環のマイクロメーターの十字線を自作されていたのである。その深谷さんが1970年頃、くも糸を使ってアイピースの十字線を作る技の講習会を開いてくれたことがあった。

ゴーチェ子午環の映像記録を残す撮影の時、蜘蛛糸による十字線の作成もぜひ撮影したいという意見があった。筆者はその「蜘蛛の糸」を使った十字線づくりの講習を受けた最後のメンバーの一人であったが、その道具も説明文もその時は行方知れずであった。

人生の幕引きに向かって、いろいろ整理をしていたら、出てきたではないか、深谷さんの講習を受けたときの道具類をしまっておいた段ボール箱が。講習の時、配布された説明文は、天文月報の記事のコピーだと思っていたが、講習会用に別に用意されたものであった。道具は出てきた、そして講習時の記憶もかすかに戻っては来たが、たぶん、何度もやってみなければ出来るとは思えない。この技術、後世に残す意味があるかどうかは別にして、天文月報記事、講習会の説明文を載せてみよう。

写真1は、その道具である。ダンボール、ティッシュペーパーの枠は下の2)の道具。



写真1 くも糸張りの道具類

道具としては、1) 木綿針を鳶口状に曲げ、ペン軸に取り付けたもの、2) 蜘蛛糸を調整する枠、3) 針金を切った錘 (0.25g、0.5g)、4) ピンセット、5) エチルアルコール、6) 新しい細い筆、7) ピッチ、8) アルコールランプ

まず、蜘蛛の巣をとることから始めて、蜘蛛糸は何本も束なったものなので、それをほぐして1本にする作業など懐かしく思い出されるのであるが、こういったものはもはや必要のない時代になった。しかし、昔あった技術としてはアーカイブしておく価値はあろう。やはり、この道具は一式で残しておこうと思う。

蜘蛛の糸

深谷 力之助*

1. はじめに

天体の位置を精密に求めるための天文器械で子午環、子午儀、天頂儀等のようにマイクロメーターをもつものでは古くから蜘蛛の糸が重要な役割りを果してきた。

この種の望遠鏡の接眼部を覗くと視野の中に固定糸と可動糸とを見ることができこれが蜘蛛の糸なのである。最近では上質な平面ガラスに細線を刻んだものやタングステン線条等を使うものもあるが種の蜘蛛の糸には脱却し難い数多くの利点が秘められている。

1969年3月東京天文台にあるゴーチェ 20 cm 子午環に新しいマイクロメーターを装着したが蜘蛛の糸以外に有利な糸を見出すことができないうまに蜘蛛の糸を使用した。

このような次第から蜘蛛の糸とマイクロメーターとの関係を主題としてお話しする。

2. マイクロメーター内部の説明

天文経緯度の観測器械の対物レンズの焦点面には視準軸（望遠鏡の回転軸と直角な視線方向に一致する光軸）に直角に固定糸を張った固定枠とこの固定枠に沿って動く可動枠とがある。この可動枠には糸が張っておりこれを可動糸と呼んでいる。

このような枠によってマイクロメーターの中心部が構成されている。

第1図に東京天文台の子午環に装着した最新マイクロメーターの内部を示す。

一般に固定糸は赤経方向つまり東西方向に直角に張

てあり赤経を観測するための可動糸は固定糸に並行に張ってある。また赤緯を観測するための可動糸は固定糸に直角に張ってある。

子午環のマイクロメーターの場合には同一の天体について子午線通過の前後で赤経および赤緯の観測をするために固定糸の面を挟んで赤経可動糸の面と赤緯可動糸の面との3面が焦点面に並列している。

これらを接眼レンズで拡大して見たとき3面が接眼レンズの焦点深度の範囲内に十分入っていなければならない。

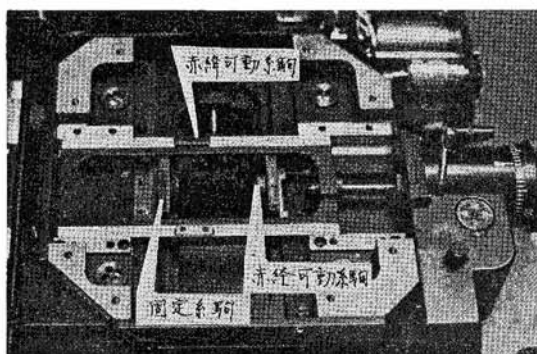
したがってこれら3面の間隔は0.1 mm 以内になっている。

第2図は赤経可動糸、固定糸および赤緯可動糸の関係を拡大して示している。それぞれの糸の太さは10~16ミクロンである。

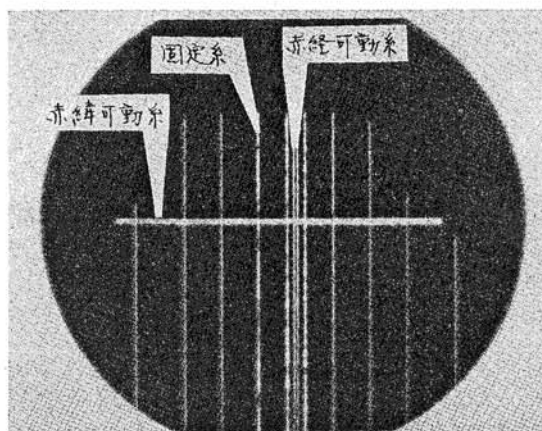
なお赤経可動糸は0.28 mm の間隔で2本が並列に、赤緯可動糸は0.22 mm の間隔で2本が並列に張ってある。

このマイクロメーターでの測定の単回誤差は±1.2ミクロンなので糸の太さの10分の1まで測定していることになる。

古いマイクロメーターの可動枠には真鍮製のものが多いが、このマイクロメーターの可動枠は内燃機関のピストン等に使用される特殊鋳鉄を用いた。この特殊鋳鉄の熱膨張係数は 10.5×10^{-6} ($0^{\circ} \sim 100^{\circ} \text{C}$)なのでこれより大きい熱膨張係数をもつ材料を固定糸や可動糸の材料に用いると糸を張ったときの温度より高い温度では糸がたるむおそれがある。たとえば白金では熱膨張係数が $9.07 \times$



第1図



第2図

* 東京天文台
R. Fukaya: The Spider Thread

10^{-6} (50°C) でありイリジウムでは熱膨張係数が 6.58×10^{-6} (17°~100°C) であるから固定糸や可動糸などとして使用可能である。

3. タングステンの糸

米国のワシントン海軍天文台にある 15 cm 子午環のマイクロメーターでは固定糸および可動糸等にタングステンの細線を使用している。(太さは約50ミクロンである。)

タングステンの特色¹⁾は、(1) 融点²⁾がすべての金属中で最も高く (3382°C)、(2) 他の金属に合金してこれらを硬くする、(3) 非常に重い (比重 19.0~20.2)、(4) 常温では稀薄および濃厚の HF、H₂SO₄、HCl、HNO₃ 等に少しもおかされないから空気中ではあまり曇らない、等である。これらのうち (1)、(4) の性質と後述の抗張力の強さがマイクロメーターの糸として着目されたのであろうが金属材料学的に次のような困難がある。

純粋のタングステンはかなり展延性に富むが不純物のはそうでもなくて熔融とか鑄造とかがほとんど不可能である。したがってまず粉末を固めて棒状としたものに強い電流を通じて半熔融し 1300°~1400°C の高温で何十回も圧延や鍛造を繰返す。そうすると次第に展延性を生じ最後に線条に引抜くことができるのである。

タングステンの物理的性質および機械的性質について要点を示すと第1表のようになる。

第1表 タングステンの諸性質

| | |
|-----------------|---------------------------------------|
| 色 | 銀白色 |
| 比重 | 19.0~20.2 |
| 融点 | 3382°C |
| 熱膨張係数 (引抜き線) | 4.98×10^{-6} (0°~500°C) |
| 抗張力 (細線条) | 500 kg/mm ² |
| 縦弾性係数 | 4.22×10^4 kg/mm ² |
| 展延性 | 相当あり |
| 加工性 | 相当あり |

タングステン線条の抗張力は驚異的である。たとえばニッケル鋼では 40~80 kg/mm² であり 18-8 型不銹鋼では 65~130 kg/mm² である。

さてこのような諸性質からタングステン線条がマイクロメーターの糸として使えることはわかるがコストの点でもはやわれわれには高嶺の花なのである。

子午環の新マイクロメーターに使用する糸が伝統をうけついで蜘蛛の糸に落着いたわけもうかがいしれようというものである。

4. 蜘蛛の糸

先人に従えばマイクロメーターに使用する蜘蛛の糸は

女郎蜘蛛の糸に限るとのことである。しかもこの女郎蜘蛛の糸にも条件があって、ある人は巣を掛けようとする雌の女郎蜘蛛が早朝風に流している糸すなわち巣が出来上ったときにその巣を支える基糸ともいべき糸がムラがなくて最良であるといい、またある人は、女郎蜘蛛の雌が産んだ卵を糸の繭で包み越冬させているがこの繭から採れる糸が最高だともいっている。

しかるに筆者は研究心が足りなくてもっばら朝風の糸を採集してこれを利用して来た。幸い今まで不都合はなかったようである。

ところで辞典によると女郎蜘蛛について次のように説明している。

女郎蜘蛛は(1) 腹部に黄色と青黒色の模様がある大型の蜘蛛で節足動物コガネグモ科に属する。樹間に複雑な三重網を張るが巣の縦糸が分枝して平行になっているのが特徴で本州以南、朝鮮、中国等に分布している。

(2) コガネグモの方言。となつている²⁾。

また女郎蜘蛛(斑蛛)は(1) 節足動物で雌は約 30 mm、雄は約 10 mm で歩脚は黒地で腿、脛に黄輪を有する。腹背は白黄地に 3 本の青黒帯があり側面後方に紅斑を有する。樹間に丸網を張りその中心に陣取っていて驚くと網をさかんにふるわせる。本州、四国、九州、朝鮮、台湾、中国等に分布している。

(2) コガネグモまたはナガコガネグモの誤称。ともなつている³⁾。

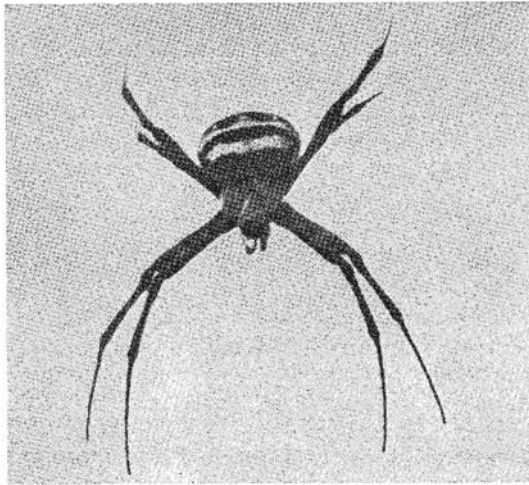
筆者が採集したものでは複雑な蜘蛛の網と丸い蜘蛛の網と両方あったがどちらかといえば丸い網の方が多かった。さてここにこがね蜘蛛の名前が出てきたので辞典でどのように説明しているかしらべてみる。

こがね蜘蛛は黒地に 3 本の黄色い縞模様がある大型の蜘蛛で節足動物コガネグモ科、体長 2 cm 内外、丸い網を張り X 字状の隠れ帯をつけ中央にあしを 2 本ずつ揃えてとまる、日本全土に分布している。となつている²⁾。

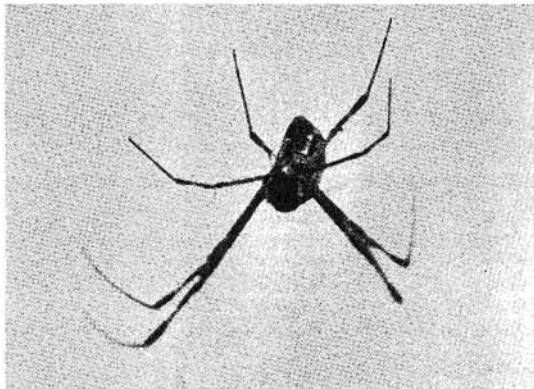
またこがね蜘蛛の雌は 25 mm、雄は 8 mm で背甲は暗褐色の地が銀白色の短毛で覆われる。腹部の背面は黒褐色の地に 3 条の黄帯を走らす、草間や軒下に丸網を張り昆虫を捕食する、8 月産卵し 9 月中旬死滅、本州、四国、九州の特産で鹿児島では雌を訓練してクモ合戦をさせる。ともなつている³⁾。

少年の頃真夏に竿先につけた針金の輪にこがね蜘蛛の雄大な巣を失散して歩いた記憶がある。この蜘蛛の糸は非常にねばる物質がついていて油蟬でもくっつくのである。したがって糸の弾力は十分ある。

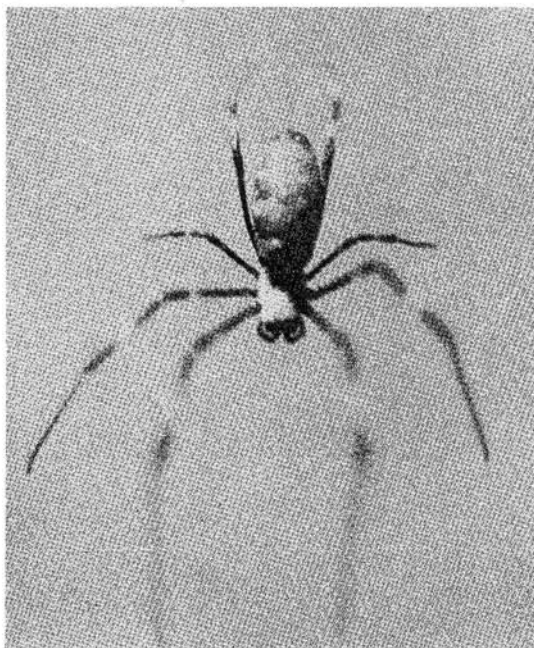
こがねぐもを第3図に、ながこがねぐもを第4図に、



第3図



第4図



第5図

第2表 蜘蛛の糸の諸性質

| 性 質 | こがねぐも | ながこがねぐも | 女郎ぐも |
|-----------------------|-------|---------|---------|
| 基 糸 の 太 さ | 太 い | 中 | 中 |
| 色 | 黄 | やや黄ばんだ白 | やや黄ばんだ白 |
| 引 張 り 強 さ (断線するとき) | 相当あり | 相当あり | 相当あり |
| 弾 性 | 相当あり | 相当あり | 相当あり |
| 細 分 化 | 可 能 | 可 能 | 可 能 |
| 分割後の糸の一様性 | 一 様 | 一 様 | 一 様 |

女郎ぐもを第5図に示す。あしのはし方にそれぞれ特徴がある。

こがね蜘蛛とながこがね蜘蛛は8月8日に神奈川県の大森野付近で捕えたものであり女郎蜘蛛は東京天文台の構内で11月12日に写したものである。

こがね蜘蛛、ながこがね蜘蛛および女郎蜘蛛の糸について性質をしらべると第2表のようになる。

冒頭である種の蜘蛛の糸としたのは第2表に示すようにどの蜘蛛の糸も性質が類似しておりまた辞典の説明でもわかるように判然としないことによる。

しかし観測のとき明視野では蜘蛛糸を挟んで眼と反対側に照明があるので糸が白いと透けてしまって具合が悪い。

したがって適当に色素を含んだこがね蜘蛛の糸が一番良いようである。ただしこがね蜘蛛の糸には粘る物質が多量にあって1~2年経過するとところどころに瘤状に集まる性質がある。この瘤は糸の太さの数倍の大きさになるものもあってたまたま微光星が瘤の陰にかくれて観測不能になることがある。(このようになった糸は張り換える。)他方望遠鏡の姿勢による可動枠の変位をしらべるときこの瘤が格好のポイントを提供するという利点もある。

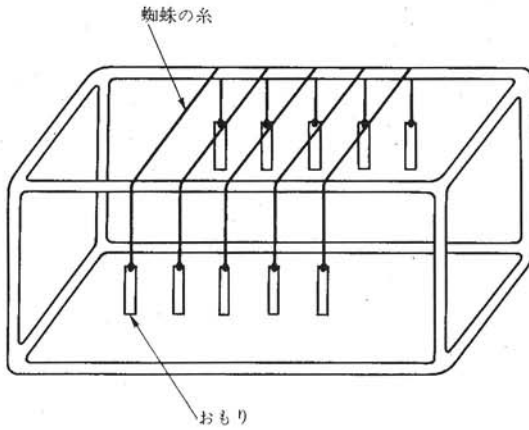
5. 蜘蛛の糸の実用

実際に蜘蛛の糸をマイクロメーターの枠に張るまでの手続きを説明する。

使用する蜘蛛の糸は前述のように巣のステーの糸すなわち基糸である。

まず長い材料から10cm位の長さに切取ったものの両端に0.5g程度のおもりをピッチによってブラ下げる。これを作業用の枠にのせて筆先でゴミを除いた後極く少量のエチルアルコールで清拭する。次に針の先端を典げた道具によって糸を分割してゆくのである。

次第に分割して(4~8本位にわかれる)太さが10ミクロン程度になったものをルーペでしらべて太さが一様なものを選び出す。その糸の両端に0.2g程度のおもりをピッチでとめて第6図のように枠にならべ、振れを戻



第6図 枠にならべたくも糸

して一昼夜放置する。

このように適当な引張りを与えると蜘蛛糸のたるみがなくなって一直線となる。

可動枠および固定枠の糸を張る駒には糸を固定するために細溝が刻んであるので十分伸ばした蜘蛛糸をこの溝に挿入する。0.2g 程度の引張りを与えたまま換れを除いてニスで固着する。数時間経過してニスが固まれば余分な部分を切取って完成する。出来上がった概要は第1図に示されるが糸の様子はわかり難いかもしれない。

使用した蜘蛛の糸について引張り強さの試験を行なった。その結果を第3表に示す。

この試験で求めた値から蜘蛛の糸の抗張力を計算すると $14\sim 18\text{ kg/mm}^2$ となる。これはタングステン線条の抗張力 (500 kg/mm^2) の約30分の1である。

また計算される縦弾性係数は 140 kg/mm^2 となりこれはタングステン線条の縦弾性係数 ($4.22 \times 10^4\text{ kg/mm}^2$) の約300分の1である。

このことは蜘蛛の糸は切れやすく伸びやすいということである。

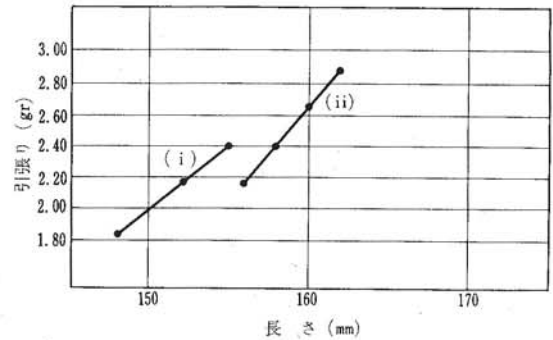
引張り力と蜘蛛糸の伸びとの関係をしらべてみたものが第4表 (i) および (ii) である。糸の太さはいずれも16 ミクロンであるが多少の相異があるかもしれない。

これらを図示したものが第7図である。

また糸の弾性をしらべてみた。太さが12 ミクロンの糸を50mm の長さの枠に0.2g の力で引張って両端を固定した場合、中央部を約2mm 押しても復原した。

6. おわりに

広く女郎蜘蛛と呼んでいるこがねぐも類の蜘蛛糸についていろいろと試験した結果は前述のようなことになるがマイクロメーターの測定糸として特に強調できるのは



第7図 くも糸の伸び

第3表 くも糸の強さ

| | くも糸の太さ (ミクロン) | 切れたときの 引張り力 (gr) | 摘要 |
|---|------------------|------------------------|-------|
| 1 | 8 | 1.2 | こがねぐも |
| 2 | 10 | 1.4 | " |
| 3 | 16 | 3.6 | " |
| 4 | 16 | 3.6 | 女郎ぐも |
| 5 | 23 | 5.1 | こがねぐも |

第4表 くも糸の伸び

(i) 16 ミクロンの糸 (ii) 16 ミクロンの糸

| 引張り力 (gr) | 糸の伸び (mm) | 引張り力 (gr) | 糸の伸び (mm) |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1.8 | 148 | 2.2 | 156 |
| 2.2 | 152 | 2.4 | 158 |
| 2.4 | 155 | 2.6 | 160 |
| | | 2.9 | 162 |

明視野でも暗視野でも測定精度に差が生じないと同時に測定値の中心がズレないことである。

蜘蛛の糸の唯一の欠点は機械的性質としての引張り弱いことである。

それと貯蔵を怠ったとき冬季には全く補給の方法がないことが観測者泣かせである。

それにしても沢山の蜘蛛君をいじめてきたので地獄に落ちても助けの糸は下してもらえないだろうと観念している。

参考書

- 1) 飯高一郎: 金属と合金 岩波書店
- 2) 学研編: 新世紀辞典 学習研究社
- 3) 新村出編: 広辞苑 岩波書店

以下は、講習会で配布された説明の文章である。

十字線を張る方法

採集したくもの基糸から十字線としてのくも糸をつくるには、次の小道具が必要である。

1. 木綿針の先端を製図器用油砥石で鋭く尖らせて、先端より1~1.5mmのところから約70°曲げて薺のくちばしのようにする。針の穴の方をペン軸に強く押し込んだ道具をつくる。(図5参照)。
2. くも糸を調整する金属製の枠(図6参照)。
3. 直径1.8~2.0mmの針金を1cmと2cmの長さに切ったものをそれぞれ10個くらいつくり、おもりにする(図5・図6参照)。
4. ピンセット
5. エチルアルコール
6. 新しい細筆
7. ピッチ
8. アルコールランプ

くも糸を図1に示したマイクロメーターの枠に張る方法について説明する。

コガネグモかジョロウグモの巣を支えているステーの

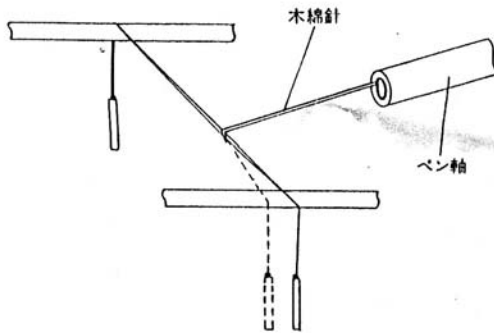


図5 くも糸の分割

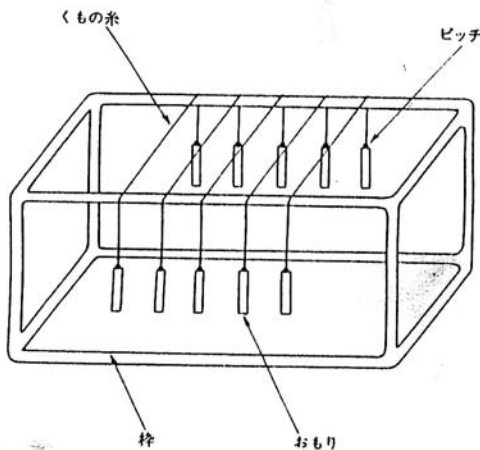


図6 くも糸の調整

糸から長くてムラのない部分を10cmくらいの長さに切りとって、両端に0.5g程度のおもりをピッチによってブラ下げる。用意した2cmの長さの針金が0.5gのおもりであって、このおもりの端をピンセットでつまみ他の端をアルコールランプの火で熱してピッチの塊に突っ込み、マッチ棒の先端のようにピッチをつけておく。このおもりのピッチが溶けた状態でくも糸に触れると、容易におもりがくっつく。両端におもりをつけた糸を図6に示す金属製の枠に乗せる。細筆の先でチリを除いた後、筆先に少量のエチルアルコールをつけて糸をしごくようにしてよじれを落とす。糸がよじれているかどうか確かめて、よじれがあれば針先で持ち上げながら直して置く。

ついで先端を曲げた針先をくも糸の上に軽く押しつけて引くと、くも糸が2つに分かれる。針先をゆっくり前後に動かすと図5に示すようにくも糸は完全に2つに分かれる。分割した糸の一端を切って0.2gのおもりを先ほどの要領でブラ下げた後、他の端にも0.2gのおもりを下げるとくも糸は2本になる。しだいに分割して(4~8本くらいに分かれる)10ミクロン程度になった糸について、ルーペでしらべて太さが一様で光沢にムラのないものを選び出す。選ばれた糸を図6のように枠に並べてよじれを直し、再び筆先にエチルアルコールをつけて清拭したのち一昼夜放置する。このように適当な引っ張りを与えると、くも糸のたるみがとれて真っ直ぐになる。

可動枠および固定枠には糸を張るための駒があって、その駒には糸を固定しやすいように厳密に位置を定めて細溝が刻んである。そして各溝は糸が十分沈む深さにしてある。よく伸張したくも糸をこの溝にはめる。0.2gの引っ張りを与えるようにおもりを働かせて、よじれていないことを確認したらメチルアルコールで溶かしたワニスでくも糸を駒の側面に固着する。数時間たってワニスが強まったならば、余分な部分を切り取って完成する。くも糸が全部張り終えると、図2のようになって出来あがる。

ワニスは東インド地方のラック貝殻虫が木の枝の上に分泌する樹脂状物質のラックから精製したもので、くも糸を固着するには最適である。ワニスは糸の張り直しのとき、メチルアルコールで拭きとればきれいになる。

ラムデン接眼鏡のようにポジティブタイプでは視野レンズの少し前に対物レンズの焦点がくるので、ここに十字線を張ればよい。

真鍮板かプラスチック板などのように工作しやすくてさびにくい材料を使って望遠鏡の焦点位置の内径に合わせた円板をつくる。接眼鏡の有効径を妨げない内径をもつリングをつくり、これをAとする。また外径でこれよ

り1mmくらい小さいリングをつくり、これをBとする。AとBとを同心にして接着剤ではり合わせると、図7のようになる。

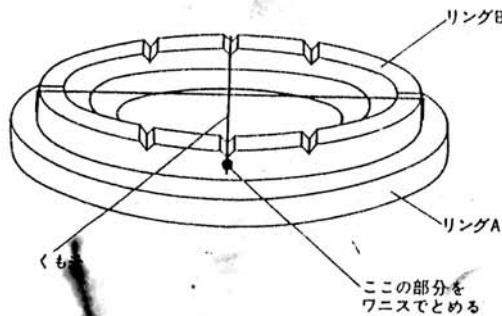


図7 十字線リング

リングBにカッターの刃で正しく直径上に深さ15ミクロン以上の刻みを入れる。さらに直角に交わる直径上に刻みを入れる。これにくも糸を張れば十字線になるが、必要ならば図に示すように一つの直径に平行して両側に正しい間隔で溝を入れる。この溝は、たとえば直径上の溝から3mm離してある。

マイクロメーターにくも糸を張る説明にならって、まず一方のくも糸を張る。このくも糸を固着するワニスがかいたならば、90°回転した直径上の細溝にくも糸を入れてワニスで固着する。この場合、くも糸を1本ずつ固着していかないと、お互いにたるんでしまうので注意する。

この十字線が対物レンズの焦点の位置にくるようにリングを固定すればよいのであるが、それにはあらかじめ直径1mmくらいの燐青銅線をリングにして、鏡筒の内部に座として固定しておく。これに十字線を張ったリングAを密着させ、もう一個の燐青銅線のリングで固定すればよい。

タングステンの糸

天文器械の測定糸に使用されるものに、くも糸のほか石英・白金・タングステンなどがあるが、条件としては糸を張る棒の熱膨張係数より小さいものであることと、数十ミクロン以下の太さの線糸にできることである。

アメリカのワシントン海軍天文台にある15cm口径のマイクロメーターでは、測定糸にタングステン細線を使用しているので、タングステン線糸について諸性質を述べてみよう。

①使用している細線は約50ミクロンの太さである、②引っ張り強さは500kg/mm²で非常に大きい、③縦弾性係数は 4.22×10^4 kg/mm²、④色は銀白色、⑤比重は19.0~20.2で重い、⑥熱膨張係数は 4.98×10^{-6} (0°~500°C)で

鉄より小さい、⑦熔融点は3,382°Cで金属中最も高く、焦点面上で太陽の光を直接うけても簡単に焼切れない。⑧常温ではHF、H₂SO₄、HCl、HNO₃などに少しもおかされないし、空気中でもあまりくもらないなどの性質がある。特に②、⑥、⑦、⑧の性質は、マイクロメーターの糸として重要な条件である。

タングステンの線糸は鍛造してつくるので、均一な太さと丸みをもたせることがむずかしく、値段のほうは別格である。

くもの糸の性質

くもの糸はくもの腹部内の糸腺に蓄えられた粘液状の蛋白質が、糸イボ微細管から数本まとめられて1本になって出てくるものである。実験によればコガネグモの糸もジョロウグモの糸も10ミクロンの太さでは1.3~1.5gの力で引っ張ったとき切れ、16ミクロンの太さでは平均3.6gの力で切れた。また16ミクロンの太さの糸を2.2gの力で引っ張って156mmの長さであったが、力を増して2.9gの力にしたら長さが162mmになった。これらの値から引っ張り強さを計算すると14~18kg/mm²となり、縦弾性係数が100~140kg/mm²となる。線糸の金の引っ張り強さは19~29kg/mm²であり、縦弾性係数は 8.1×10^4 kg/mm²である。したがって引っ張ったときくもの糸は金線の2分の1の力で切れてしまい、約70分の1の力で元の長さの2倍の長さに伸びることになる。

また12ミクロンの太さのくもの糸を50mmの距離、0.2gの力で引っ張って固定したのち、中央を2mm押して復元した。すなわち、中央を押したとき長さが0.16mm伸びたが、外力がなくなったら弾性によって元の状態に戻ったわけである。

これらを総合して、①くもの糸は伸びやすく弾性に乏しい、②金属の線糸に比較して切れやすいなど、機械的性質は貧弱である。しかし適当な力で引っ張って固定した糸は、+40°~-10°Cの温度変化でまったく弛まない優れた点がある。強い衝撃や湿気に注意すれば、10~30年使用できる実績がある。